

**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE INCERTIDUMBRE EN TIEMPO Y COSTO EN
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**

HERNÁN DARÍO GÓMEZ ROMERO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2014

**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE INCERTIDUMBRE EN TIEMPO Y COSTO EN
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**

HERNÁN DARÍO GÓMEZ ROMERO

PROYECTO DE GRADO

DIRECTOR: ARMANDO OROBIO, Ph.D.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2014

Notas de aceptación:

Firma del director de trabajo de
grado

Firma del jurado 1

Firma del jurado 1

Santiago de Cali, 18 de febrero de 2014

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mi familia que siempre me ha apoyado en mis estudios; en segundo lugar a mi director de tesis ARMANDO OROBIO, que con su colaboración y orientación se ha logrado desarrollar a satisfacción este trabajo; En tercer lugar a la Universidad del Valle que me ha brindado la oportunidad de desarrollar este trabajo; en cuarto lugar a la Gobernación del Valle del Cauca que me suministró gran parte de la información de los proyectos de infraestructura vial que se utilizaron como base de datos.

CONTENIDO

RESUMEN.....	i
INTRODUCCION.....	ii
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 DESCRIPCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVO	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
2 MARCO DE REFERENCIA.....	4
2.1 ANTECEDENTES.....	4
2.2 ESTADO DEL ARTE.....	6
3 METODOLOGÍA	9
3.1 TIPO DE ESTUDIO.....	9
4 ELABORACIÓN DEL MODELO.....	11
4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	11
4.1.1 LIMITACIONES DE RECOLECCION DE INFORMACION.....	11
4.1.2 PROCESO DE RECOLECCION DE DATOS	12
4.2 DATOS PROCESADOS	14
4.3 SELECCIÓN DEL PROYECTO	16
4.4 AJUSTE DE LOS DATOS PROCESADOS	17
4.5 DESARROLLO DE LAS SIMULACIONES.....	18
4.5.1 SIMULACION DE PROGRAMACION	18
4.5.2 SIMULACION DE COSTOS DIRECTOS.....	21
4.5.3 SIMULACION DE COSTOS TOTALES	23
5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	26
5.1 PROGRAMACION DE OBRA.....	26
5.2 PRESUPUESTO COSTOS DIRECTOS	30
5.3 PRESUPUESTO COSTOS TOTALES	34

5.4	ANALISIS DE LAS CAUSA QUE AFECTAN LAS VARIABLES.....	37
5.4.1	CAUSAS QUE AFECTAN LOS TIEMPOS EN OBRA	37
5.4.2	CAUSAS QUE AFECTAN LOS COSTO EN OBRA	41
6	COMPARATIVO DEL PROYECTO MODELO CON LA REALIDAD	43
7	CONCLUSIONES	44
8	RECOMENDACIONES	47
9	BIBLIOGRAFÍA	49

LISTA DE FIGURAS

Figura No 1. Programación del caso de estudio en Project	19
Figura No 2. Modelo de cronograma en @RISK 6 para Project	20
Figura No 3. Modelo de presupuesto costo directo en @RISK 6 para Project	22
Figura No 4. Modelo de presupuesto costo directo más administración en @RISK 6 para Project.....	24
Figura No 5. Datos acumulados de la variable duración del proyecto y de los costos administrativos.....	25
Figura No 6. Resultados de salida para la duración del proyecto vs probabilidad de ocurrencia.	26
Figura No 7. Resultados de salida para la duración acumulada del proyecto vs probabilidad de ocurrencia.....	27
Figura No 8. Análisis de sensibilidad del cronograma	27
Figura No 9. Coeficiente de correlación jerárquica del cronograma	29
Figura No 10. Resultados de salida del costo directo vs probabilidad de ocurrencia.	31
Figura No 11. Resultados de salida para el costo directo acumulada del proyecto vs probabilidad de ocurrencia.	31
Figura No 12. Análisis de sensibilidad del costo directo	32
Figura No 13. Coeficiente de correlación jerárquica del costo directo	33
Figura No 14. Resultados de salida del costo directo más administración vs probabilidad de ocurrencia.....	34
Figura No 15. Resultados de salida para la duración acumulada del proyecto vs probabilidad de ocurrencia.....	35
Figura No 16. Análisis de sensibilidad del costo directo más administración	35
Figura No 17. Coeficiente de correlación jerárquica del costo directo más administración.....	37

LISTA DE TABLAS

Tabla No 1. Funciones estadísticas para definir actividades como variables.....	6
Tabla No 2. Relación de proyectos utilizados como base de datos	12
Tabla No 3. Consideraciones para ajuste de los presupuestos con el cronograma	13
Tabla No 4. Índices de Costos de la Construcción Pesada (ICCP)	14
Tabla No 5. Tabulado de rendimiento de las actividades.....	15
Tabla No 6. Tabulado de costos unitarios de las actividades.....	16
Tabla No 7. Presupuesto de actividades del caso de estudio (costos directos). ...	16
Tabla No 8. Tabulado de duración de las actividades.....	17
Tabla No 9. Tabulado de costos unitarios de las actividades.....	18
Tabla No 10. Configuración del modelo del cronograma	19
Tabla No 11. Variables del modelo del cronograma.....	20
Tabla No 12. Configuración del modelo de costo directo	21
Tabla No 13. Variables del modelo de costo directo	22
Tabla No 14. Configuración del modelo de costo directo más administración.	23
Tabla No 15. Variables del modelo de costo directo más administración	24
Tabla No 16. Rangos de sensibilidad del cronograma	28
Tabla No 17. Análisis de sensibilidad (Rango de Media) del cronograma	28
Tabla No 18. Análisis de Gantt Probabilístico	30
Tabla No 19. Rangos de sensibilidad del costo directo.....	32
Tabla No 20. Análisis de sensibilidad (Rango de Media) del costo directo	33
Tabla No 21. Rangos de sensibilidad del costo directo más administración	36
Tabla No 22. Análisis de sensibilidad (Rango de Media) del costo directo más administración.....	36
Tabla No 23. Causas de bajos rendimientos de la actividad – Cajeo.....	39
Tabla No 24. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Conformación de sub-rasante.....	39
Tabla No 25. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Sub-Base	39
Tabla No 26. Causas de bajos rendimientos de la actividad – Base.....	39
Tabla No 27. Causas de bajos rendimientos de la actividad – Imprimación	39
Tabla No 28. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Carpeta asfáltica...	40
Tabla No 29. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Cuneta de concreto	40
Tabla No 30. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Encole y descole (concreto).....	40
Tabla No 31. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Líneas de demarcación con pintura en frio.....	40

Tabla No 32. Matriz de causas que afectan la duración de las actividades41

Tabla No 33. Causas de aumento del costo unitario de la actividad - Cajeo42

Tabla No 34. Causas de aumento del costo unitario de la actividad – Base.....42

Tabla No 35. Causas de aumento del costo unitario de la actividad - Carpeta
Asfáltica42

Tabla No 36. Causas de aumento del costo unitario de la actividad – Sub Base .42

LISTA DE ANEXOS

Anexo No 1 - Base de datos de rendimientos.....	52
Anexo No 2 - Base de datos de costos unitarios	57
Anexo No 3 – Costos administrativos.	64
Anexo No 4 – Resultados de la modelación en los datos de entrada del cronograma.....	65
Anexo No 5 – Resultados de la modelación en los datos de entrada del costo directo	66
Anexo No 6 – Resultados de la modelación en los datos de entrada del costo directo	67
Anexo No 7 - Detalles estadísticos de la modelación del cronograma	68
Anexo No 8 – Detalles estadísticos de la modelación del costo directo	69
Anexo No 9 – Detalles estadísticos de la modelación del costo directo más administración.....	70

RESUMEN

Muchos de los proyectos de infraestructura vial que se realizan en Colombia, por lo general manifiestan problemas con cumplimiento, retrasos y sobrecostos, principalmente debido a que los cronogramas y presupuestos están basados en datos determinísticos que no representan la realidad de los proyectos. Planteada esta situación se hace necesario presentar una metodología que permita identificar los factores de riesgos que más inciden en la planeación de estas obras.

Partiendo de lo anterior se escogió un proyecto finalizado de infraestructura vial, el cual fue modelado bajo métodos de análisis de riesgo. Para ello fue necesario utilizar como base los registros históricos de proyectos similares en el sector público, con el fin de elaborar bajo herramientas estadísticas, curvas de probabilidades de rendimientos y costos unitarios para las diversas actividades que componen el proyecto.

Al final de la simulación se obtuvieron los resultados de identificación de las actividades que afectan directamente la variabilidad de un proyecto en costo y duración como son la colocación de Base y de Carpeta asfáltica; y se definieron algunas de las causas más comunes que afectan estas actividades como la lluvia y el acarreo de materiales.

INTRODUCCION

La gestión de riesgos es importante a la hora de desarrollar cualquier tipo de proyecto, dado que ésta se basa en la identificación, análisis y planificación de riesgos para tomar acciones de mitigación que permitan reducir al máximo el impacto de éstos, permitiendo ejecutar las obras con el menor costo y en el menor tiempo.

El presente trabajo se enfoca en el análisis de los efectos de la incertidumbre en tiempo y costo para los proyectos de construcción de carreteras, este análisis se define como la identificación de los elementos que afectan de manera importante los tiempos y costos de ejecución.

Partiendo de lo anterior es necesario establecer que una obra está compuesta de múltiples actividades, que se pueden ver afectadas por diferentes eventos que representan un riesgo para el desarrollo ideal de una obra, por ello es importante establecer un buen presupuesto y un buen cronograma de obra que represente la realidad de la ejecución.

Este trabajo se hace para determinar cuáles son las actividades que afectan los costos y la duración de un caso de estudio de infraestructura vial. Para ello como marco de referencia se usa el análisis cuantitativo de riesgos, que utiliza como herramienta el método de Montecarlo, por medio de un modelo matemático que permite establecer las variaciones en costos y duración de las actividades que componen el caso de estudio, basándose en las condiciones particulares de cada actividad, las cuales tienen un comportamiento establecido de acuerdo a los datos estadísticos obtenidos de proyectos similares, con el fin de obtener unos resultados que obedecen a la variación de las diversas actividades, permitiendo cuantificar la magnitud de la incertidumbre y estableciendo cuáles son las actividades más sensibles en cuanto al costo y la duración, de acuerdo al impacto de cada variable sobre los resultados del modelo.

Adicional a esto, con base en la información recolectada de proyectos similares se identifican cuáles son algunas de las causas endógenas y exógenas que afectan las actividades que componen el caso de estudio.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN

El uso de metodologías de gestión de riesgos por parte de empresas constructoras nacionales no es común, a pesar de los beneficios que éstas ofrecen, tales como la reducción de costos y tiempos de ejecución. Estas metodologías se basan en la identificación, análisis y planificación de riesgos para adoptar acciones de mitigación; para ello es necesario identificar las variaciones asociadas a un proyecto, sus incertidumbres y condiciones que pueden afectar el desarrollo su integral.

Es claro que el desconocimiento de los riesgos potenciales, no permite tomar acciones de mitigación cuando se presenta un riesgo, lo cual generalmente se traduce en un aumento de los costos o de la duración de un proyecto, lo que a todas luces es un problema que afecta la rentabilidad de una construcción.

Bajo este concepto, es importante decir que la gestión del riesgo no elimina los riesgos. Sin embargo, con esto se pretende hacer una gestión efectiva de los riesgos basado en una estrategia que permita reducir al máximo su impacto. La importancia de lo anterior queda plasmada en el siguiente comentario, que dice que, “Los riesgos podrán dejar de ser riesgos una vez que sean identificados y evaluados, reduciéndose así el problema a sólo administrarlos” (Kangari, 1995)

Partiendo de lo anterior, podemos identificar que los procesos que se llevan a cabo en la ejecución de los proyectos de construcción, deben ser administrados con un presupuesto y cronograma probables, que sirva como herramienta real para el seguimiento de éstos y permita identificar los riesgos potenciales a controlar. Pero la realidad es que muchas de las estimaciones de los proyectos que se realizan en el medio Colombiano, en muchos casos no se ajustan a la realidad de la ejecución, dado que estos son basados en procesos determinísticos que no permiten estimar los efectos de la variabilidad que se presenta en el desarrollo de las obras, ni los riesgos potenciales que las pueden afectar.

En función a lo anterior se puede ver que esta situación en muchos casos deriva en retrasos y sobrecostos que afecta el resultado de cualquier proyecto. Por tal motivo se hace necesario realizar un procedimiento que permita identificar cuáles son los factores que afectan de manera importante el desarrollo del proyecto, utilizando datos reales de obras terminadas, con lo cual se tienen los insumos para hacer una buena gestión de riesgos.

Para finalizar, dado que el campo de la construcción es muy amplio, este proyecto se enfoca en un caso de estudio de obra referente a la infraestructura vial, esto

debido a la importancia que este tipo de construcciones tiene en el medio colombiano.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer los efectos de incertidumbre en tiempo y costo en proyectos de construcción de carreteras, utilizando un caso de estudio modelado bajo los conceptos del método de la ruta crítica CPM y la simulación de Montecarlo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las actividades que afectan directamente la variabilidad de un proyecto infraestructura vial en costo y duración, partiendo de la modelación de un caso de estudio bajo el método de la simulación de Montecarlo de análisis cuantitativo de riesgos.
- Definir cuáles son las causas más comunes que afectan las actividades que conforman el modelo del caso de estudio.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La construcción en Colombia representa el 6.7% del producto interno bruto (DANE, 2012) y de ese porcentaje el 53.4% de mercado de la construcción son obras civiles (DANE, 2012) que en una gran parte son construcciones viales, esto muestra la importancia de la construcción en la economía del país. En este orden de ideas el desarrollo de buenos proyectos de infraestructura vial con condiciones de mínimo costo y menor duración, generan un gran beneficio tanto en la generación de empleo como en el desarrollo asociado a los servicios que presta la malla vial del país, lo cual hace que se tenga una tendencia a incrementarse el número de obras de este tipo.

Partiendo de lo anterior queda claro que el creciente mercado de las obras viales genera un gran atractivo para las empresas constructoras, que debido a la gran competencia, requieren de herramientas que maximicen sus utilidades sin sacrificar la calidad.

En este orden de ideas la importancia de este trabajo radica en ver los efectos que la incertidumbre de costo y tiempo tiene en el presupuesto de un proyecto de infraestructura vial, dado que permite establecer el tamaño de las variaciones en el

costo total de una obra, lo que facilita establecer cuál es la magnitud de la contingencia que se debe tomar para la ejecución del proyecto.

Por otra parte, el establecer los factores que inciden de manera importante en la variabilidad de los retrasos y sobrecostos permite identificar los riesgos que se puedan presentar en el momento de la ejecución de un proyecto. Partiendo de la identificación de los riesgos se pueden establecer acciones adecuadas que permitan evitar, corregir o mitigar los efectos sobre el proyecto buscando siempre la reducción del costo y el tiempo proyectado. Es importante tener en cuenta que no todos los eventos son riesgo, dado que en ocasiones son oportunidades que reducen el costo y el tiempo de la obra, por lo cual es importante tenerlos en cuenta con el fin de favorecerlos a la hora de la ejecución.

Para finalizar, los resultados de este documento aportan un insumo importante para la gestión de riesgos en proyectos similares, lo cual le permite plantear estrategias que disminuyan el riesgo, permitiendo obtener una mejor rentabilidad y alcanzar un mayor cumplimiento en los tiempos de ejecución en proyectos de similares características.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 ANTECEDENTES

Dentro de la documentación encontrada se ha podido establecer por medio de una serie de encuestas realizadas a empresas constructoras, la percepción de la industria de la construcción asociada a la gestión del riesgo. Planteando que la gestión del riesgo es esencial para la ejecución de la obra, para reducir al mínimo las pérdidas y mejorar la rentabilidad en función de la solución temprana de problemas presentados en obra o del establecimiento de estrategias de ejecución con un mayor grado de eficiencia. El riesgo en la construcción generalmente es percibido como un evento que influye en el desarrollo del objetivo del proyecto en costo, tiempo y calidad. Por otra parte el análisis y la gestión del riesgo dependen del buen juicio y la experiencia de los profesionales a cargo de la administración y ejecución de la obra (Akintye, A.S. & MacLeod, M.J., 1997)

Los modelos para el análisis de riesgos asociados a los costos de un proyecto pueden variar considerablemente. Algunos investigadores plantean dos enfoques, el primero plantea una distribución probabilística para determinar el costo asociado a los gastos y el segundo plantea una evaluación cualitativa de los riesgos identificados para aplicar un costo de impacto (Christopher, P. & Caddell, PE., 2009).

Partiendo de lo anterior, el análisis de riesgo está relacionado con la evaluación de la incertidumbre que amenaza la integridad de un proyecto el cual está compuesto por una serie de actividades que tienen un costo y una duración. Bajo este concepto se expone un análisis de costos que se basa en definir como unos eventos pueden aumentar o disminuir el costo de una actividad y a su vez el costo del proyecto, para ello se plantea una distribución probabilística para cada costo por actividad, lo que permite obtener el costo más probable de un proyecto (Jajuga, K., 2009).

De la misma manera se plantea los análisis para la duración de un proyecto, basándose en una distribución probabilística de los tiempos de cada actividad, pero en este caso se plantea una diferencia con el punto anterior, debido a que la duración del proyecto está ligada con la programación de obra que plantea la interrelación de las actividades de acuerdo al sentido lógico de ejecución, con base en los conceptos de programación del CPM y el PERT, con lo cual se obtiene la duración más probable del proyecto (Jajuga, K., 2009).

Por otra parte otros autores plantean una metodología desarrollada para integrar la planeación de proyectos de construcción en condiciones de incertidumbre. Esta metodología está basada en gestión del riesgo que permiten identificar, analizar y cuantificar los principales factores de riesgo, su probabilidad de ocurrencia y su

impacto en la duración de las actividades del proyecto. Para ello se utilizan estimaciones de los costos marginales de cada actividad y las interrupciones en tiempo que se puedan presentar, lo que permite por medio de un proceso heurístico desarrollar un programa de línea base, que está suficientemente protegido frente a las interrupciones que puedan ocurrir durante la ejecución del proyecto. Para ello se definen las duraciones de las actividades con funciones triangulares, parametrizadas por diferentes datos suministrados por un director de obra en función de su experiencia (Schatterman, D., Herroelen, W., Van de Vonder, S., & Boone, A. 2008).

Igualmente para el control de proyectos se plantea un concepto probabilístico que establece un pronóstico de rendimientos al final del proyecto, sin que exceda el presupuesto, el cronograma y el nivel de riesgo planificado. Esta metodología plantea la aplicación de curvas de rendimiento limite, tanto en costo real como en tiempo transcurrido, para obtener por medio de un enfoque probabilístico una representación gráfica que hace referencia a las curvas S, con lo cual se facilita el proceso de control de un proyecto permitiendo visualizar el estado real sin la necesidad de actualizar las predicciones de rendimientos de ejecución, para ello utiliza como herramienta una modelación con base en el método de Monte Carlo (Barraza, G. A., & Bueno, R. A. 2007).

Dentro de los procesos de gestión de riesgo se plantea una metodología para evaluar el estado de los resultados de los proyectos en su terminación. Este procedimiento utiliza el concepto de elaboración de curvas S bajo métodos estocásticos, como una alternativa a los procesos determinísticos. Presenta un enfoque apoyado en una simulación (basada en el método de Monte Carlo) que genera una curva basada en la posibilidad de definir costos y duraciones de las actividades de manera individual por medio de una distribución de probabilidades. Con el objetivo de comparar los costos y duraciones previstas de manera determinística con los pronosticados por medio del método probabilístico. Con este enfoque se plantea una herramienta que permite determinar con precisión los costos y las duraciones, permitiendo de una mejor manera evaluar las acciones correctivas (Barraza, G. A., Back, W. E., & Mata, F. 2004).

Muchos de los métodos de análisis de riesgo plantean la utilización de la simulación de Monte Carlo la cual es una técnica cuantitativa que usa la estadística para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de sistemas reales no dinámicos. Identificando aquellas variables cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento global del sistema (Faulín, J & Juan, A 2005).

2.2 ESTADO DEL ARTE

El análisis cuantitativo de riesgos en obras de construcción, propone una modelación para evaluar los efectos de las variaciones en costos y duración de las actividades que componen el proyecto. Este método plantea un análisis de sensibilidad basado en la simulación de Monte Carlo, la cual mezcla conceptos estadísticos a manera de muestreo aleatorio (Jajuga, K., 2009), donde la simulación estadística consiste en el desarrollo de un modelo lógico – matemático que se usa para establecer las probabilidades para generar variables aleatorias de funciones probabilísticas conocidas y establecidas con un muestreo de datos reales; todo esto con el objetivo de dar un panorama de los diferentes resultados o escenarios posibles en costo y duración.

El método Monte Carlo se utiliza para proporcionar una solución numérica a un problema estadístico cuando la solución analítica es demasiado compleja o no existe, planteando un análisis basado en la generación de datos artificiales por medio de un ordenador. Básicamente el método propone una variación ordenada de las entradas del modelo con lo que se obtiene un número de observaciones artificiales, utilizando la analogía entre la cantidad y la probabilidad de un evento, evaluando la relación de volumen con el universo de posibilidades, con base a un muestreo aleatorio donde los resultados pertenecen a un determinado conjunto, como lo establece la ley de los grandes números que plantea que esta estimación converge al verdadero valor del volumen de conjuntos a medida que el número de resultados aumenta (Lorez, J. 2008).

Bajo los conceptos anteriormente mencionados, el método de análisis plantea establecer las actividades que componen el proyecto, como variables que siguen un patrón estadístico establecido, en función de datos extraídos de proyectos reales, los cuales son ajustados a distribuciones probabilísticas (Barraza, G. A., Back, W. E., & Mata, F. ,2004), como las que se muestran en **Tabla No 1**.

Tabla No 1. Funciones estadísticas para definir actividades como variables.

Beta	BetaGeneral	Beta-Subjectiva
Binomial	Chi cuadrado	Cumulative
Discreta	Discreta Uniforme	Error Función
Erlang	Exponential	Extreme Value
Gamma	General	Geométrica
Histograma	Hypergeométrica	Inversa Gaussiana
EnteraUniforme	Logistic	Log-Logistic
Lognormal	Lognormal2	Negativa Binomial
Normal	Pareto	Pareto2
Pearson V	Pearson VI	PERT
Poisson	Rayleigh	Student's t
Triangular	Trigen	Uniforme
Weibull	Compuesta	

Donde el método establece que los datos extraídos de los proyectos reales asociados a cada actividad se usan para estimar los parámetros de las distribuciones probabilísticas que apliquen de acuerdo con las restricciones y condiciones asociadas a cada función, utilizando como herramienta de ajuste el método de los mínimos cuadrados. Posterior a esto se establece un comparativo con base en los siguientes criterios de ajuste:

- El criterio de información Akaike (AIC)
- criterio de información bayesiano (BIC)
- Chi-Cuadrada
- Kolmogorov-Smirnov (KS)
- Anderson-Darling (AD)

Partiendo de lo anterior, se elige un criterio de selección para establecer la distribución probabilística que refleje mejor el comportamiento de los datos y que se usara como variable en el modelo. Del mismo modo es importante mencionar que uno de los criterios más utilizados es el Akaike (AIC), el cual se establece como una medida de calidad para un conjunto de datos basada en la entropía de la información, donde el criterio de selección establece escoger la distribución con los valores más bajos de AIC (@risk by Palisade, 2013).

Por otra parte, para el desarrollo de este tipo de simulaciones es necesario establecen los modelos de costos directo, costos totales y programación de obra que permitan desarrollar la modelación con sus correspondientes variables de entrada y salida.

Partiendo de lo anterior, es claro que un concepto clave de ésta metodología está asociado a que el costo total de un proyecto es equivalente a la suma de los costos de todas las actividades que lo componen, más los costos administrativos que se encuentran en función del tiempo. Bajo lo anteriormente planteado, el presupuesto de obra es la estimación de los costos que pueden tener un proyecto, el cual se establece con la suma de los costos directos e indirectos.

Donde los costos directos, son los costos asociados a la ejecución de la obra, es decir que son la sumatoria de los costos relacionados a cada actividad, los cuales por lo general se determinan por medio de las cantidades a ejecutar multiplicadas por un costo unitario. Por otra parte los costos indirectos son los costos asociados a la administración de un proyecto, estos costos no pueden ser asignados directamente a ninguna actividad del proyecto, dado que se generan de manera transversal a lo largo del periodo de ejecución, por lo general estos costos están asociados al personal administrativo de la obra, directores, residentes, impuestos, campamentos, etc.

Otro concepto a tener en cuenta en esta metodología plantea que el tiempo total de un proyecto está asociado a los resultados de la programación de obra que se encuentra en función de las interrelaciones de las actividades de acuerdo al sentido lógico de ejecución, con base en los conceptos de programación de los métodos de CPM y el PERT.

Partiendo de lo anterior, el CPM o Critical Path Method, desarrollado en 1957 en los Estados Unidos, consiste en el desarrollo de una programación de obra, con el objetivo de determinar la duración de un proyecto, donde cada actividad que compone el proyecto tiene una duración y donde las actividades siguen una secuencia lógica de acuerdo al proceso constructivo. En este método se establecen restricciones tales que no permiten iniciar una actividad antes de que sus predecesoras terminen o tengan un avance suficiente para garantizar que la actividad no se frene en su proceso de ejecución, con esto se establece un orden cronológico de ejecución con hitos claves, donde la duración del proyecto la determinan las actividades que componen la ruta crítica, las cuales no tienen tiempos de holguras, es decir si una de estas actividades se retrasa todo el proyecto se retrasa.

Por último es importante establecer que los eventos que pueden afectar una obra pueden ser riesgos que atenten de manera negativa el desarrollo de las actividades en costo y duración; así como también pueden ser oportunidades que beneficien el desarrollo de la obra generando ahorros en tiempo y costo. Partiendo de lo anterior es importante siempre identificarlos con el fin de plantear estrategias para evitar o mitigar los riesgos y para fomentar las oportunidades.

3 METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE ESTUDIO

El estudio que se desarrolló en el presente documento se realizó con base a un caso de estudio de una obra ejecutada de infraestructura vial, que se modeló bajo un método de análisis cuantitativo de riesgo, donde se utilizó la técnica estadística de la simulación de Monte Carlo, la cual plantea un estudio de sensibilidad con el que se establecieron los efectos de la incertidumbre de cada actividad en el presupuesto y la programación del proyecto de estudio, permitiendo identificar cuáles son las actividades que afectaron directamente el proyecto y estableciendo cuáles fueron las causas de su ocurrencia. Para cumplir con este objetivo se utilizó como herramienta de trabajo el Programa @Rick para Project el cual basa su funcionamiento en el concepto anteriormente planteado.

Para el desarrollo del trabajo se realizaron tres modelaciones configuradas de la siguiente manera:

- Con el programa @Rick para Project se estableció un modelo con base a un cronograma de actividades ajustado al método de programación del CPM, en donde la duración de las actividades son las variables, las cuales se establecieron con los datos recolectados de proyectos afines. Por otra parte la duración total del proyecto se estableció como la variable de salida de donde se interpretaron los efectos causados por las variables de entrada.
- Con una hoja electrónica de Excel se configuró un modelo de presupuesto que contiene las mismas actividades del modelo anterior y donde los costos unitarios son las variables, las cuales se establecieron con los datos recolectados de proyectos afines. Por otra parte el costo directo total del proyecto se estableció como la variable de salida de donde se interpretaron los efectos causados por las variables de entrada.
- De la misma manera, con el modelo de presupuesto de costos directo planteado en el punto anterior, se le agregaron los costos administrativos como una variable dependiente de la duración del proyecto. Donde se estableció que la suma de los costos directos más los costos administrativos son la variable de salida de donde se interpretaron los efectos causados por las variables de entrada.

Con esto se pretende identificar cuáles son los elementos que inciden de manera importante en el incremento del costo y tiempo del caso de estudio. Adicional a esto y basándose en los datos recolectados, se establecieron algunas de las causas que afectan las actividades en costo y duración, registrando la frecuencia

de ocurrencia de los eventos y el promedio de magnitud de estos cuando se presentan. Dónde se establece un número de datos asociados a la cantidad de proyectos de la base de datos que contienen la actividad analizada; y un número de eventos asociado al número de veces que el evento se presentó en los datos analizados.

4 ELABORACIÓN DEL MODELO

Como se ha mencionado con anterioridad, el presente documento se desarrolló por medio de tres modelos, los cuales se describen brevemente a continuación:

- Modelo de programación basado en CPM: este consiste en la elaboración de un programa como se puede ver en la **Figura No 1** donde se configura la programación del caso de estudio siguiendo el orden lógico de ejecución. Esta programación tiene como principal característica el establecimiento de la duración de cada actividad como una variable de entrada y donde la duración total del proyecto es la variable de salida del modelo, como se puede ver claramente en la **Tabla No 10**
- Modelo de costo directo: este consiste en la elaboración de un presupuesto de costo directo como se puede ver en la **Tabla No 12** donde se establece el valor unitario de cada actividad como una variable de entrada y donde el costo directo del proyecto es la variable de salida del modelo.
- Modelo de costo total: este consiste en la elaboración de un presupuesto de costo directo más costo administrativo como se puede ver en la **Tabla No 14**, donde se establece el valor unitario de cada actividad y el costo administrativo en función de la duración es establecen como variables de entrada y donde el costo total del proyecto es la variable de salida del modelo, donde queda claro que el costo total.

4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El proceso se basó en la obtención de varios proyectos asociados a las obras de infraestructura vial, de los cuales se recolectaron documentos tales como las bitácoras de obra, actas de liquidación y memorias de cantidades de las actas de pagos parciales, los cuales en su mayoría fueron obtenidos de la Secretaría de Infraestructura de la Gobernación del Valle

4.1.1 LIMITACIONES DE RECOLECCION DE INFORMACION

Antes de iniciar con el proceso de recolección de información es importante establecer cuáles fueron las principales dificultades que se presentaron el momento de la toma de datos y que de cierta forma acotan el alcance de esta investigación.

En primer lugar, los presupuestos obtenidos como bases de datos no está organizados exactamente como las actividades se ejecutaron en realidad por lo tanto se hizo necesario ajustar los datos para que reflejaran el costo de la

actividad utilizando como soportes documentos tales como la bitácora y las memorias de cantidades de cada acta de pago.

En varias ocasiones las bitácoras de los proyectos no estaban completas o no eran lo suficientemente descriptivas para obtener información de los tiempos de ejecución de las actividades.

Es claro que los proyectos investigados no contaban con un sistema claro de gestión del tiempo y del costo que permita hacer un seguimiento más detallado del desarrollo de las actividades y de identificación de los riesgos y su correspondiente impacto asociado.

Muchas causas de demoras o sobre costo no pueden asociarse directamente a una actividad dado que estas afectan de manera global al proyecto, como por ejemplo los retrasos causados por el ajuste de los diseños, la obtención de permisos, etc.

Por otra parte es claro que el proyecto está basado en los datos obtenidos de entidades públicas por lo tanto los costos están asociados a los ofrecidos por los contratistas en el momento de la licitación o a los acordados por el contratista con la entidad en caso de ser actividades adicionales. Por lo tanto no se puede determinar el impacto que algunos eventos pueden generar sobre costo de cada actividad a favor o en contra de los precios finales pactados en el contrato.

4.1.2 PROCESO DE RECOLECCION DE DATOS

Como se mencionó anteriormente, se tomaron datos de diversos proyectos afines, los cuales se relacionan en la **Tabla No 2**, estos se obtuvieron después de una depuración de 40 proyectos que por motivos de falta de información o baja afinidad no se tuvieron en cuenta para la modelación.

Tabla No 2. Relación de proyectos utilizados como base de datos

REHABILITACIÓN VÍA - PUENTE TIERRA - JIGUALES - CALIMA -DARIEN - MADROÑAN TABLEROS
REHABILITACION DE LA VIA YUMBO LA CUMBRE
REHABILITACION DE LA VIA JAMUNDI - RIO CLARO - TIMBA (TRAMO 1)
REHABILITACION DE LA VIA ESTELIA - SEVILLA LA PLAYA
REHABILITACION DE LA VIA ZARZAL - ROLDANILLO
REHABILITACION DE LA VIA CRUCERO PANCE PUENTE EL HORMIGUERO
REHABILITACIÓN DE LA VÍA JAMUNDI-RIO CLARO-TIMBA (TRAMO II)
MEJORAMIENTO DE VIAS EN EL SECTOR URBANO DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI "CALLE 10 ENTRE CARRERAS 23 Y 32, COMUNA 19 GRUPO 1"
MEJORAMIENTO DE LA VIA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE PATIA Y EL TAMBO; PRIMERA ETAPA: PAVIMENTACIÓN DEL SECTOR: ESTANQUILLO - LA FONDA
REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO K0+000 AL K13+000, CRUCERO DE GUALI
REHABILITACION ANTIGUA VIA CALI YUMBO SEGUNDO TRAMO
MEJORAMIENTO DE LA VIA CANDELARIA - FLORIDA, PRADERA PALMIRA
MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA VÍA SANTIAGO DE CALI CRR 122 A LA VORÁGINE.
MEJORAMIENTO DE LA VIA CANDELARIA - FLORIDA, PRADERA PALMIRA

Básicamente el proceso consintió en la extracción de información de los costos de las actividades y su duración en el desarrollo de las obras, utilizando como base los documentos oficiales que reposan en las entidades públicas.

Dado el método que actualmente se utiliza para la elaboración de los presupuestos, en donde una actividad puede estar disgregada en varios ítem que componen el presupuesto con unidades de medida diferente; fue necesario realizar la reagrupación de los costos unitarios en función de las actividades que se establecieron en el modelo, la cuales se explicaran más adelante. En este orden de ideas a continuación en la **Tabla No 3** se muestran las consideraciones contempladas para ajustar los datos de los presupuestos de los proyectos utilizados como base de datos.

Tabla No 3. Consideraciones para ajuste de los presupuestos con el cronograma

Actividad	Unidad	Descripción del Costo asociado
Cajeo	m3	Excavación sin clasifica a máquina incluye retiro y movilización de maquinaria
Conformación de sub-rasante	m2	Conformación de la calzada existente
Sub-base	m3	Suministro e instalación de Sub base granular, incluye acarreo de la planta a la obra e incluye movilización de maquinaria.
Base	m3	Suministro e instalación de Base granular, incluye acarreo de la planta a la obra e incluye movilización de maquinaria.
Imprimación	m2	Riego de imprimación con emulsión asfáltica (MC-70)
Carpeta Asfáltica	m3	Suministro e instalación de Mezcla densa en caliente tipo MDC, incluye acarreo de la planta a la obra e incluye movilización de maquinaria.
Cunetas en concreto	m	Suministro e instalación de Concreto clase D: 3000 psi para canaletas, incluye excavación y formaleta.
Encoles y descoles	M3	Suministro e instalación de Concreto clase D: 3000 psi para encoles y descoles de tuberías de desagüe incluye 65 kg de acero por m3 de concreto, excavación y formaleta.
Tubería de concreto reforzado de 900 mm	ML	Suministro e instalación Tubería de concreto reforzado de 900 mm de diámetro interior, incluye transporte de tubería, colocación de 0,48 m3 de lecho de arena por metro lineal de tubería, 1,8 m3 de excavación a máquina por metro lineal de tubería y 0,6 m3 de relleno importado por metro lineal de tubería)
Líneas de demarcación con pintura en frio	ML	Líneas de demarcación con pintura en frio

Para los datos de duración de las actividades, se dependió de la información obtenida de las bitácoras para poder establecer una relación entre el tiempo de

ejecución de un equipo de trabajo y las cantidades ejecutadas, para así poder obtener un rendimiento promedio de cada actividad afín al modelo por cada proyecto utilizado como base de datos.

En **Anexo No 1** se presenta la tabulación de los datos obtenidos asociados a los rendimientos de ejecución de las actividades contenidas en cada proyecto y se establecen algunas causas que afectan los rendimientos y su impacto estimado.

En **Anexo No 2** se presenta la tabulación de los datos obtenidos asociados a los costos unitarios de ejecución de las actividades contenidas en cada proyecto y se establecen algunas causas que afectan el aumento de los costos y su impacto estimado. Cabe destacar que los datos de costos de años anteriores fueron traídos a tiempo presente utilizando los índices de Costos de la Construcción Pesada (ICCP) obtenidos de información estadística del DANE los cuales se muestran en la **Tabla No 4**.

Tabla No 4. Índices de Costos de la Construcción Pesada (ICCP)

año	índice de precios de la construcción
2004	5,86%
2005	2,60%
2006	9,44%
2007	3,94%
2008	8,74%
2009	-2,36%
2010	1,57%
2011	8,00%
2012	3,32%
2013	0,00%

4.2 DATOS PROCESADOS

En la **Tablas No 5** se muestran los datos tabulado de los rendimientos de cada actividad, los cuales se utilizaron para la realización del modelo. Estos datos fueron extraídos de la información contenida en el **Anexo No 1**.

Los rendimientos contenidos en la **Tablas No 5** están asociados a un equipo de trabajo, es decir, en el caso de las actividades que se desarrollan con maquinaria, el rendimiento estará relacionado a un juego de maquinaria; y en el caso de actividades desarrolladas por mano de obra, el rendimiento está relacionado con una cuadrilla de trabajo.

Por otro lado, los datos de la **Tablas No 5** que se encuentran subrayados y en negrilla fueron completados de otros proyectos que no están el listado de la **Tabla No 2**, debido a que no eran proyectos viales, pero sirvieron para completar el número mínimo de muestras necesarias para la modelación debido a que contenían datos de las actividades que se requerían.

Por otra parte, los datos de rendimiento de la base y la sub-base son muy similares dado que la actividad se realizan de la misma manera y requiere el mismo esfuerzo y tiempo de los equipos utilizados, por lo tanto en la **Tablas No 5** se colocan los mismos rendimientos en ambas actividades, lo que duplica los datos muestreados en estas dos actividades con base a los datos contenidos en el **Anexo No 1**.

De la misma manera en la **Tabla No 6** se muestran los datos tabulados de los valores unitarios de cada actividad, los cuales se utilizaron para la realización del modelo. Los datos fueron extraídos de la información contenida en el **Anexo No 2**.

Por último, los datos de la **Tablas No 6** que se encuentran subrayados y en negrilla fuero completados de otros proyectos que no están el listado de proyectos de la **Tabla No 2**, debido a que no eran proyectos viales, pero sirvieron para completar el número mínimo de muestras necesarias para la modelación debido a que contenían datos de las actividades que se requerían.

Tabla No 5. Tabulado de rendimiento de las actividades.

DATOS PARA LA VARIABLE TIEMPO									
ACTIVIDAD									
Cajeo	Conformación de sub-rasante	Sub-base	Base	Imprimación	Carpeta Asfáltica	Cunetas en concreto	encoles y descoles	Tubería de concreto reforzado de 900 mm	Líneas de demar. con pintura en frio
Días/m3	Días/m2	Días/m3	Días/m3	Días/m2	Días/m3	Días/m	Días/M3	Días/ML	Días/ML
0,006422	0,001086	0,010156	0,010156	0,000576	0,038462	0,027491	0,653595	0,109409	0,000448
0,005346	0,001034	0,013016	0,013016	0,000271	0,017385	0,038638	0,432099	0,113971	0,000561
0,010625	0,000837	0,014042	0,014042	0,000442	0,016711	0,020847	0,306268	0,137500	0,000474
0,004998	0,000752	0,010436	0,010436	0,000534	0,013494	0,017137	0,613497	<u>0,125000</u>	0,000397
0,003563	0,000732	0,013923	0,013923	0,000558	0,014302	0,045584	0,423729	<u>0,104167</u>	0,000697
0,002712	0,000668	0,010959	0,010959	0,000534	0,013354	0,014818	0,800000	<u>0,156250</u>	0,000396
0,003280	0,000939	0,009612	0,009612	0,000429	0,015074	0,043333	<u>0,625000</u>	<u>0,138889</u>	0,000444
0,002885	0,000612	0,011477	0,011477	0,000476	0,016211	0,024043	<u>0,833333</u>	<u>0,178571</u>	0,000667
0,002868	0,001054	0,012096	0,012096	0,000489	0,016508	0,029267	<u>0,500000</u>	<u>0,250000</u>	0,000570
0,002481	<u>0,000694</u>	0,018741	0,018741	0,000526	0,018779	0,068311	<u>0,543478</u>	<u>0,083333</u>	
0,004297		0,008865	0,008865	0,000498	0,024894	0,030000			
0,005657		0,011152	0,011152	0,000697	0,015147				
0,014347		0,016216	0,016216						
0,004917		0,013402	0,013402						
		0,009898	0,009898						
		0,015197	0,015197						
		0,011913	0,011913						
		0,013980	0,013980						
		0,011053	0,011053						
		0,011000	0,011000						
		0,011842	0,011842						
		0,009194	0,009194						
		0,009216	0,009216						
		0,011183	0,011183						

Tabla No 6. Tabulado de costos unitarios de las actividades

DATOS PARA LA VARIABLE COSTO									
ACTIVIDAD									
Cajeo	Conformación de sub-rasante	Sub-base	Base	Imprimación	Carpeta Asfáltica	Cunetas en concreto	encoles y descoles	Tubería de concreto refor. de 900 mm	Líneas de demar. con pintura en frio
\$/m3	\$/m2	\$/m3	\$/m3	\$/m2	\$/m3	\$/m	\$/M3	\$/ML	\$/ML
25.314,5	2.645,0	185.518,3	187.160,0	1.487,8	495.262,8	36.544,3	638.782,1	373.709,2	1.839,1
19.736,9	2.014,5	90.787,4	90.041,6	1.487,8	426.768,2	37.616,3	407.994,1	325.582,0	1.839,3
18.998,9	1.716,9	128.189,1	95.313,8	1.467,1	469.062,5	35.978,6	465.134,1	360.175,8	2.453,0
13.906,9	2.014,7	170.831,5	132.859,2	1.487,3	549.817,5	42.230,1	480.314,0	<u>353.675,0</u>	1.780,0
18.027,0	1.949,0	69.589,4	173.200,8	1.504,9	548.137,2	37.210,7	639.511,0	<u>357.113,1</u>	1.045,6
6.892,8	2.356,0	79.598,9	74.336,1	1.440,0	413.734,3	37.980,2	428.618,1	<u>360.547,5</u>	1.227,4
8.697,8	436,3	90.782,2	84.130,4	2.828,7	710.887,3	34.822,5	<u>654.728,5</u>	<u>364.198,3</u>	1.711,0
23.337,3	738,7	99.375,9	92.468,6	1.292,2	571.914,1	31.211,6	<u>588.417,5</u>	<u>365.804,1</u>	1.675,4
6.973,0	1.055,8	70.050,1	103.947,6	1.442,8	445.039,1	43.545,0	<u>292.465,2</u>	<u>362.408,9</u>	2.539,0
17.582,5	<u>2.590,0</u>	38.239,6	89.633,4	1.889,0	178.385,9	38.586,6	<u>593.660,0</u>	<u>358.804,1</u>	1.980,6
10.403,1		80.342,9	44.487,0	2.613,1	308.008,9	29.990,6			
6.638,8		61.891,1	88.966,7	2.539,6	273.607,0	26.727,2			
19.612,7			68.815,5	3.062,0	379.635,1	35.365,2			
8.160,1			106.543,0						

4.3 SELECCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de infraestructura seleccionado es la REHABILITACION DE LA VIA JAMUNDI-RIO CLARO-TIMBA (TRAMO 1), corresponde al contrato No 1048 de sep. de 2011 de la Gobernación del Valle, la cual inicio el 13/09/2011 y termino el 28/05/2012, con un costo directo de \$5.756'123.005 y un costo administrativo de \$ 1.813'178.746 que incluye utilidad, imprevisto e impuestos; que sumados dan un costo total de \$7.569'301.751.

La obra tuvo una duración de 195 días hábiles de acuerdo a las fechas de iniciación y terminación. Dentro de este periodo se desarrollaron las actividades que se encuentran relacionadas en la **Tabla No 7** que muestra el presupuesto real en costos directo, que se tomó del acta de liquidación del proyecto y se ajustó al modelo que se plantea. Es de aclarar que solo se tomaron las actividades afines para formar el caso de estudio, las cuales en este proyecto son el 86,11% del costo del proyecto y las cuales se desarrollaron en todo la duración de la obra.

Tabla No 7. Presupuesto de actividades del caso de estudio (costos directos).

Descripción	Und	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Cajeo	m3	5458,6	18.388,39	100.374.872,79
Conformación de sub-rasante	m2	68130	1.661,69	113.211.110,00
Sub-base	m3	4916,97	87.870,15	432.054.884,49
Base	m3	13639,05	92.251,02	1.258.216.318,84
Imprimación	m2	99760,29	1.440,00	143.654.817,60
Carpeta Asfáltica	m3	6615	413.054,76	2.732.357.266,29
Cunetas en concreto	m	1918,75	34.822,48	66.815.633,50
Encoles y descoles	M3	45,9	618.256,00	28.377.950,40
Tubería de concreto reforzado de 900 mm	ML	137,1	361.700,71	49.589.167,05
Líneas de demarcación con pintura en frio	ML	17867	1.780,00	31.803.260,00
			Total	4.956.455.280,96

4.4 AJUSTE DE LOS DATOS PROCESADOS

Antes de poder iniciar la modelación fue necesario hacer un ajuste final a los datos relacionados con los rendimientos de cada actividad que se presentan en la **Tabla No 5**, el cual consistió en ajustar el número de cuadrillas de trabajo de las siguientes actividades: “**Cunetas en concreto**” y “**Encole y descole**”; de una (1) a cuatro (4), lo que hizo que estos rendimientos aumentaran 4 veces. Por otra parte fue necesario multiplicar cada uno de los datos de la **Tabla No 5** después del ajuste de las cuadrillas en las dos actividades mencionadas, por la cantidad asociada a la actividad contenida en el caso de estudio, el cual se muestra en la **Tabla No 7**, dando como resultado los datos contenidos en la **Tabla No 8**.

Tabla No 8. Tabulado de duración de las actividades

DATOS PARA LA VARIABLE TIEMPO									
ACTIVIDAD									
Cajeo	Conformación de sub-rasante	Sub-base	Base	Imprimación	Carpeta Asfáltica	Cunetas en concreto	encoles y descoles	Tubería de concreto refor. de 900 mm	Líneas de demar. con pintura en frío
Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días	Días
35,06	74,01	49,94	138,52	57,50	254,42	13,19	7,50	15,00	8,00
29,18	70,42	64,00	177,53	27,00	115,00	18,53	4,96	15,63	10,02
58,00	57,00	69,04	191,52	44,07	110,54	10,00	3,51	18,85	8,47
27,28	51,27	51,31	142,34	53,24	89,26	8,22	7,04	17,14	7,09
19,45	49,90	68,46	189,90	55,68	94,61	21,87	4,86	14,28	12,45
14,80	45,49	53,89	149,48	53,29	88,34	7,11	9,18	21,42	7,08
17,90	63,97	47,26	131,10	42,78	99,71	20,79	7,17	19,04	7,94
15,75	41,73	56,43	156,54	47,52	107,23	11,53	9,56	24,48	11,91
15,65	71,79	59,47	164,97	48,83	109,20	14,04	5,74	34,28	10,18
13,54	47,31	92,15	255,60	52,46	124,23	32,77	6,24	11,43	
23,45		43,59	120,91	49,67	164,68	14,39			
30,88		54,84	152,11	69,55	100,20				
78,32		79,73	221,17						
26,84		65,89	182,78						
		48,67	135,00						
		74,72	207,27						
		58,58	162,48						
		68,74	190,67						
		54,35	150,76						
		54,09	150,03						
		58,23	161,52						
		45,21	125,40						
		45,31	125,70						
		54,99	152,53						
VARIABLES DEL MODELO EN TIEMPO									
Cajeo	Conformación de subrasante	Sub-base	Base	Imprimación	Carpeta Asfáltica	Cunetas en concreto	encoles y descoles	Tubería de concreto refor. de 900 mm	Líneas de demar. con pintura en frío
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10

Por otra parte la **Tabla No 9** contiene los mismos datos de la **Tabla No 6**, la única diferencia es que en la **Tabla No 9** se encuentran la referencia de las variables asociadas al costo que se utilizaron en el modelo. De igual manera en la **Tabla No**

8 se encuentran la referencia de las variables asociadas a la duración de cada actividad.

Tabla No 9. Tabulado de costos unitarios de las actividades

DATOS PARA LA VARIABLE COSTO									
ACTIVIDAD									
Cajeo	Conformación de sub-rasante	Sub-base	Base	Imprimación	Carpeta Asfáltica	Cunetas en concreto	encoles y descoles	Tubería de concreto reforzado de 900 mm	Líneas de demar. con pintura en frío
\$/m3	\$/m2	\$/m3	\$/m3	\$/m2	\$/m3	\$/m	\$/M3	\$/ML	\$/ML
25.314,5	2.645,0	185.518,3	187.160,0	1.487,8	495.262,8	36.544,3	638.782,1	373.709,2	1.839,1
19.736,9	2.014,5	90.787,4	90.041,6	1.487,8	426.768,2	37.616,3	407.994,1	325.582,0	1.839,3
18.998,9	1.716,9	128.189,1	95.313,8	1.467,1	469.062,5	35.978,6	465.134,1	360.175,8	2.453,0
13.906,9	2.014,7	170.831,5	132.859,2	1.487,3	549.817,5	42.230,1	480.314,0	353.675,0	1.780,0
18.027,0	1.949,0	69.589,4	173.200,8	1.504,9	548.137,2	37.210,7	639.511,0	357.113,1	1.045,6
6.892,8	2.356,0	79.598,9	74.336,1	1.440,0	413.734,3	37.980,2	428.618,1	360.547,5	1.227,4
8.697,8	436,3	90.782,2	84.130,4	2.828,7	710.887,3	34.822,5	654.728,5	364.198,3	1.711,0
23.337,3	738,7	99.375,9	92.468,6	1.292,2	571.914,1	31.211,6	588.417,5	365.804,1	1.675,4
6.973,0	1.055,8	70.050,1	103.947,6	1.442,8	445.039,1	43.545,0	292.465,2	362.408,9	2.539,0
17.582,5	2.590,0	38.239,6	89.633,4	1.889,0	178.385,9	38.586,6	593.660,0	358.804,1	1.980,6
10.403,1		80.342,9	44.487,0	2.613,1	308.008,9	29.990,6			
6.638,8		61.891,1	88.966,7	2.539,6	273.607,0	26.727,2			
19.612,7			68.815,5	3.062,0	379.635,1	35.365,2			
8.160,1			106.543,0						
VARIABLES DEL MODELO EN COSTO									
Cajeo 2	Conformación de subrasante 2	Sub-base 2	Base 2	Imprimación 2	Carpeta Asfáltica 2	Cunetas en concreto 2	encoles y descoles 2	Tubería de concreto refor. de 900 mm 2	Líneas de demar. con pintura en frío 2
Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10

4.5 DESARROLLO DE LAS SIMULACIONES

Como anteriormente se había mencionado, la modelación del proyecto se hará en tres configuraciones en función de:

- El tiempo de ejecución (Programación)
- El costo directo
- El costo total.

A continuación se presentan la configuración de los tres modelos de simulación con sus correspondientes variables de entrada y salida, asociadas al orden lógico de ejecución, a los datos estadísticos recolectados y a la base metodológica establecida.

4.5.1 SIMULACION DE PROGRAMACION

Este primer modelo establece un cronograma de ejecución del caso de estudio que cumple con un orden lógico de precesión de las actividades y de restricciones ajustadas al proceso constructivo que se pudo inferir de la lectura de

la bitácora. En la **Figura No 1** se muestra la configuración del cronograma que se utilizó para la modelación, y en la **Tabla No 10** se muestra los datos asociados a la programación.

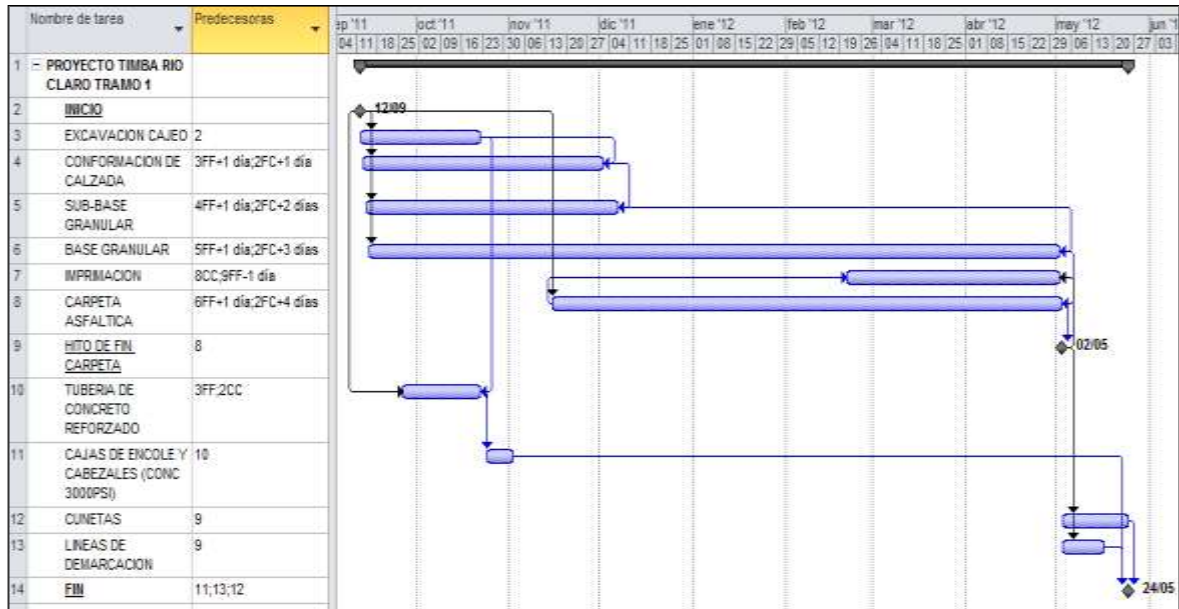


Figura No 1. Programación del caso de estudio en Project

Por otra parte en la **Tabla No 10** y en la **Figura No 2** se muestra la configuración del modelo a ejecutar, donde se establecen como variables de entrada la duración de las actividades, las cuales están sujetas a unas funciones estadísticas que se muestran en el **Tabla No 11**, que a su vez fueron parametrizadas con los datos tabulados en la **Tabla No 8**. Igualmente se establece la duración total del proyecto como la variable de salida.

Tabla No 10. Configuración del modelo del cronograma

ID	ACTIVIDAD	DURACION (VARIABLE)	INICIO	FIN	PREDECESORA
1	PROYECTO TIMBA RIO CLARO TRAMO 1	SALIDA	12/09/2011		
2	INICIO	0 días	12/09/2011	12/09/2011	
3	EXCAVACION CAJEO	X1			2
4	CONFORMACION DE CALZADA	X2			3FF+1 día;2FC+1 día
5	SUB-BASE GRANULAR	X3			4FF+1 día;2FC+2 días
6	BASE GRANULAR	X4			5FF+1 día;2FC+3 días
7	IMPRIMACION	X5			8CC;9FF-1 día
8	CARPETA ASFALTICA	X6			6FF+1 día;2FC+4 días
9	HITO DE FIN CARPETA	0 días			8
10	TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO	X9			3FF;2CC
11	CAJAS DE ENCOLE Y CABEZALES (CONC 3000PSI)	X8			10
12	CUNETAS	X7			9
13	LINEAS DE DEMARCACION	X10			9
14	FIN	0 días			11;13;12

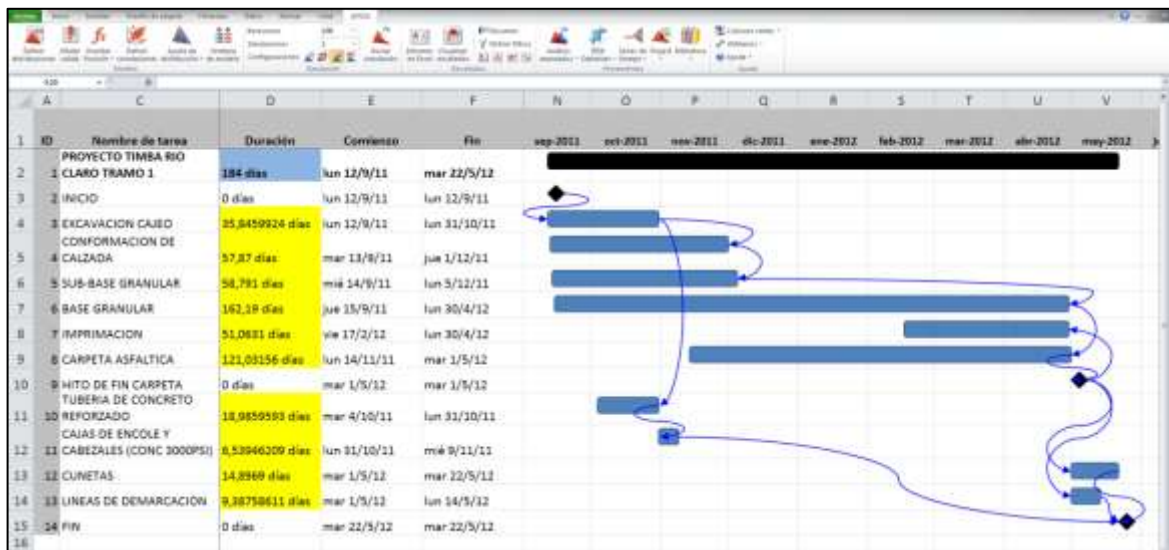


Figura No 2. Modelo de cronograma en @RISK 6 para Project

Tabla No 11. Variables del modelo del cronograma

Entradas de modelo @RISK						
Ejecutado por: Hernan						
Fecha: sábado, 16 de noviembre de 2013 11:59:37 a.m.						
Nombre	Celda	Gráfico	Función	Mín	Media	Máx
Cajeo (X1)	D4		RiskPareto(1,6073;13,544;RiskName("Cajeo"))	13,544 días	35,84599 días	+∞
Conformacionde subreasante (X2)	D5		RiskUniform(38,138;77,602;RiskName("Conformacionde subreasante"))	38,138 días	57,87 días	77,602 días
Sub-base (X3)	D6		RiskPert(43,47;46,114;124,82;RiskName("Sub-base"))	43,47 días	58,791 días	124,82 días
Base (X4)	D7		RiskPert(120,91;120,91;368,59;RiskName("Base"))	120,91 días	162,19 días	368,59 días
Imprimacion (X5)	D8		RiskLaplace(51,0631;9,646;RiskName("Imprimacion"))	-∞	51,0631 días	+∞
Carpeta Asfaltica (X7)	D9		RiskPareto(3,702;88,338;RiskName("Carpeta Asfaltica"))	88,338 días	121,0316 días	+∞
tuberia de concreto reforzado de 900 mm (X6)	D11		RiskExtvalue(16,4865;4,3302;RiskName("tuberia de concreto reforzado de 900 mm"))	-∞	18,98596 días	+∞
encoles y descoles (X8)	D12		RiskRayleigh(2,8777;RiskShift(2,9328);RiskName("encoles y descoles"))	2,9328 días	6,539462 días	+∞
Cunetas en concreto (X9)	D13		RiskExpon(8,5679;RiskShift(6,329);RiskName("Cunetas en concreto"))	6,329 días	14,8969 días	+∞
lineas de demarcacion con pintura en frio (X10)	D14		RiskPareto(8,0722;7,0823;RiskName("lineas de demarcacion con pintura en frio"))	7,0823 días	9,387586 días	+∞

En la **Tabla No 11** se muestran las funciones establecidas como variables para cada una de las actividades que componen el proyecto, con base a los datos de duración de cada actividad, asociados a la nube de puntos establecida en la **Tabla No 8**, estas funciones fueron seleccionadas debido a que obtuvieron la mayor concordancia con la base de datos bajo el criterio de selección ACI (Akaike), es decir que expresan de una mejor manera el comportamiento de los datos asociados a cada actividad.

Por otra parte esta simulación se desarrolló con diez (10) variables de entrada asociadas a la duración de las actividades y una (1) variable de salida asociada a la duración total del proyecto. Por último la modelación se realizó con quince mil (15.000) iteraciones bajo el método estadístico de Monte Carlo, lo cual nos brinda una mayor confianza sobre los resultados obtenidos.

4.5.2 SIMULACION DE COSTOS DIRECTOS

Este segundo modelo que se muestra en la **Tabla No 12** se establece con base en el presupuesto de ejecución del caso de estudio, el cual contiene todas las actividades contempladas en el cronograma de obra y en el acta de liquidación; y está acorde con los ajustes establecidos en la sección 4.3 del presente documento.

Por otra parte en la **Tabla No 12** y en la **Figura No 3** se muestra la configuración del modelo a ejecuta, donde se establecen como variables de entrada los costos unitarios de las actividades, las cuales están sujetas a unas funciones estadísticas que se muestran en el **Tabla No 13** y que a su vez fueron parametrizadas con los datos tabulados en la **Tabla No 9**. Igualmente se establece el costo total directo del proyecto como la variable de salida.

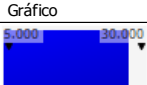
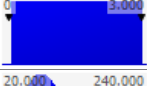

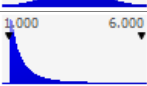
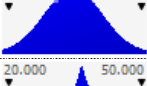

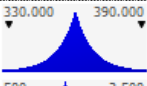

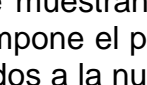

Tabla No 12. Configuración del modelo de costo directo

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
CAJEJO 2	m3	5458,6	Y1	
CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE 2	m2	68130	Y2	
SUB-BASE 2	m3	4916,97	Y3	
BASE 2	m3	13639,05	Y4	
IMPRIMACIÓN 2	m2	99760,29	Y5	
CARPETA ASFÁLTICA 2	m3	6615	Y6	
CUNETAS EN CONCRETO 2	m	1918,75	Y9	
ENCOLES Y DESCOLES 2	M3	45,9	Y8	
TUBERÍA DE CONCRETO REFORZADO DE 900 MM 2	ML	137,1	Y7	
LÍNEAS DE DEMARCACIÓN CON PINTURA EN FRIO 2	ML	17867	Y10	
TOTAL COSTO DIRECTOS				SALIDA

PRESUPUESTO COSTO DIRECTO -REHABILITACION DE LA VIA JAMUNDI - RIO CLARO - TIMBA (TRAMO 1)				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cajeo 2	m3	5458,6	\$ 15.976,60	\$ 87.209.868,76
Conformacionde subreasante 2	m2	68130	\$ 1.540,65	\$ 104.964.143,85
Subase 2	m3	4916,97	\$ 96.283,05	\$ 473.420.869,34
Base 2	m3	13639,05	\$ 91.255,11	\$ 1.244.633.048,96
Imprimacion 2	m2	99760,29	\$ 1.936,79	\$ 193.214.255,69
Carpeta Asfaltica 2	m3	6615	\$ 443.866,00	\$ 2.936.173.590,00
Cunetas en concreto 2	m	1918,75	\$ 36.544,28	\$ 70.119.344,93
encoles y descoles 2	M3	45,9	\$ 473.596,00	\$ 21.738.056,40
Tuberia de concreto reforzado de 900 mm 2	ML	137,1	\$ 360.361,63	\$ 49.405.579,06
Lineas de demarcacion con pintura en frio 2	ML	17867	\$ 1.809,55	\$ 32.331.194,12
TOTAL COSTO DIRECTOS			\$	5.213.209.951,10

Figura No 3. Modelo de presupuesto costo directo en @RISK 6 para Project

Tabla No 13. Variables del modelo de costo directo

Entradas de modelo @RISK						
Ejecutado por: Hernan						
Fecha: miércoles, 16 de octubre de 2013 07:08:07 p.m.						
Nombre	Celda	Gráfico	Función	Mín	Media	Máx
Cajeo 2 (Y1)	D4		RiskUniform(5202,2;26751;RiskName("Cajeo 2"))	\$ 5.202,20	\$ 15.976,60	\$ 26.751,00
Conformacionde subreasante 2 (Y2)	D5		RiskUniform(190,89;2890,4;RiskName("Conformacionde subreasante 2"))	\$ 190,89	\$ 1.540,65	\$ 2.890,40
Subase 2 (Y3)	D6		RiskExtvalue(78353;31063;RiskName("Subase 2"))	-∞	\$ 96.283,05	+∞
Base 2 (Y4)	D7		RiskLaplace(91255,113;35464,6703;RiskName("Base 2"))	-∞	\$ 91.255,11	+∞
Imprimacion 2 (Y5)	D8		RiskPareto(3,0047;1292,2;RiskName("Imprimacion 2"))	\$ 1.292,20	\$ 1.936,79	+∞
Carpeta Asfaltica 2 (Y6)	D9		RiskNormal(443866;140334;RiskName("Carpeta Asfaltica 2"))	-∞	\$ 443.866,00	+∞
Cunetas en concreto 2 (Y7)	D10		RiskLaplace(36544,284;4685,7611;RiskName("Cunetas en concreto 2"))	-∞	\$ 36.544,29	+∞
encoles y descoles 2 (Y8)	D11		RiskUniform(252213;694979;RiskName("encoles y descoles 2"))	\$ 252.213,00	\$ 473.596,00	\$ 694.979,00
Tuberia de concreto reforzado de 900 mm 2 (Y9)	D12		RiskLaplace(360361,627;10085,8959;RiskName("Tuberia de concreto reforzado de 900 mm 2"))	-∞	\$ 360.361,60	+∞
Lineas de demarcacion con pintura en frio 2 (Y10)	D13		RiskLaplace(1809,548;454,183;RiskName("Lineas de demarcacion con pintura en frio 2"))	-∞	\$ 1.809,55	+∞

En la **Tabla No 13** se muestran las funciones establecidas como variables para cada actividad que compone el proyecto, con base a los datos de valor unitario de cada actividad, asociados a la nube de puntos establecida en la **Tabla No 9**, estas

funciones fueron seleccionadas debido a que obtuvieron la mayor concordancia con la base de datos bajo el criterio de selección ACI (Akaike), es decir que expresan de una mejor manera el comportamiento de los datos asociados a cada actividad.

Por otra parte esta simulación se desarrolló con diez (10) variables de entrada asociadas al costo unitario directo de las actividades y una (1) variable de salida asociada la costó directo total del proyecto. Por último la modelación se realizó con diez mil (10.000) iteraciones bajo el método estadístico de Monte Carlo, lo cual nos brinda una mayor confianza sobre los resultados obtenidos.

4.5.3 SIMULACION DE COSTOS TOTALES

Este tercer modelo que se muestra en la **Tabla No 14** establece un presupuesto de ejecución para el caso de estudio, que contiene todas las actividades contempladas en el cronograma de obra y en el acta de liquidación; y los efectos generados por los costos administrativos en función del tiempo, para ello se hizo necesario calcular los costos administrativos diarios de la obra, los cuales se muestran en la **Anexo No 3**.

Por otra parte en la **Tabla No 14** y en la **Figura No 4** se muestra la configuración del modelo a ejecuta, donde se establecen como variables de entrada los costos unitarios de las actividades, las cuales están sujetas a unas funciones estadísticas que se muestran en la **Tabla No 15** y que a su vez fueron parametrizadas con los datos tabulados en la **Tabla No 9**, de la misma manera la duración del proyecto en este modelo se convierte en una variable parametrizada por los resultados de la modelación del cronograma (Ver **Anexo No 3 y Figura No 5**), que multiplicado con el costo unitario diario de la administración genera la variable del costo administrativo. Igualmente en este modelo se establece el costo total directo más los administrativos del proyecto como la variable de salida.

Tabla No 14. Configuración del modelo de costo directo más administración.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
CAJE0 2	m3	5458,6	Y1	
CONFORMACIÓN DE SUB-RASANTE 2	m2	68130	Y2	
SUB-BASE 2	m3	4916,97	Y3	
BASE 2	m3	13639,05	Y4	
IMPRIMACIÓN 2	m2	99760,29	Y5	
CARPETA ASFÁLTICA 2	m3	6615	Y6	
CUNETAS EN CONCRETO 2	m	1918,75	Y9	
ENCOLES Y DESCOLES 2	M3	45,9	Y8	
TUBERÍA DE CONCRETO REFORZADO DE 900 MM 2	ML	137,1	Y7	
LÍNEAS DE DEMARCACIÓN CON PINTURA EN FRIO 2	ML	17867	Y10	
		TOTAL COSTO DIRECTOS		
ADMINISTRATIVOS	Duración proyecto	Costo unitario día		COSTOS ADMINISTRATIVOS
	Z1	\$ 2.395.437,50		
TOTAL COSTO DIRECTOS + ADMINISTRATIVOS				SALIDA

PRESUPUESTO COSTO DIRECTO -REHABILITACION DE LA VIA JAMUNDI - RIO CLARO - TIMBA (TRAMO 1)				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cajeo 2	m3	5458,6	\$ 15.976,60	\$ 87.209.868,76
Conformacion de sub-rasante 2	m2	68130	\$ 1.540,65	\$ 104.964.143,85
Sub-Base 2	m3	4916,97	\$ 96.283,05	\$ 473.420.869,34
Base 2	m3	13639,05	\$ 91.255,11	\$ 1.244.633.048,96
Imprimacion 2	m2	99760,29	\$ 1.936,79	\$ 193.214.255,69
Carpeta Asfaltica 2	m3	6615	\$ 443.866,00	\$ 2.936.173.590,00
Cunetas en concreto 2	m	1918,75	\$ 36.544,28	\$ 70.119.344,93
encoles y descoles 2	M3	45,9	\$ 473.596,00	\$ 21.738.056,40
Tuberia de concreto reforzado de 900 mm 2	ML	137,1	\$ 360.361,63	\$ 49.405.579,06
Lineas de demarcacion con pintura en frio 2	ML	17867	\$ 1.809,55	\$ 32.331.194,12
TOTAL COSTO DIRECTOS				\$ 5.213.209.951,10
ADMINISTRATIVOS		Duracion proyecto	Costo unitario día	COSTOS ADMINISTRATIVOS
		192,796299	\$ 2.395.437,50	\$ 461.831.484,39
TOTAL COSTO DIRECTOS + ADMINISTRATIVOS				\$ 5.675.041.435,49

Figura No 4. Modelo de presupuesto costo directo más administración en @RISK 6 para Project

Tabla No 15. Variables del modelo de costo directo más administración

Entradas de modelo @RISK						
Ejecutado por: Hernan						
Fecha: sábado, 16 de noviembre de 2013 05:40:54 p.m.						
Nombre	Celda	Gráfico	Función	Min	Media	Máx
Duracion (Z1)	C17		RiskLognorm2(3,9514;0,70788;RiskShift(125,98);RiskName("Duracion"))	125,98	192,7963	+∞
Cajeo 2 (Y1)	D4		RiskUniform(5202,2;26751;RiskName("Cajeo 2"))	\$ 5.202,20	\$ 15.976,60	\$ 26.751,00
Conformacionde subreasante 2 (Y2)	D5		RiskUniform(190,89;2890,4;RiskName("Conformacionde subreasante 2"))	\$ 190,89	\$ 1.540,65	\$ 2.890,40
Subase 2 (Y3)	D6		RiskExtvalue(78353;31063;RiskName("Subase 2"))	-∞	\$ 96.283,05	+∞
Base 2 (Y4)	D7		RiskLaplace(91255,113;35464,6703;RiskName("Base 2"))	-∞	\$ 91.255,11	+∞
Imprimacion 2 (Y5)	D8		RiskPareto(3,0047;1292,2;RiskName("Imprimacion 2"))	\$ 1.292,20	\$ 1.936,79	+∞
Carpeta Asfaltica 2 (Y6)	D9		RiskNormal(443866;140334;RiskName("Carpeta Asfaltica 2"))	-∞	\$ 443.866,00	+∞
Cunetas en concreto 2 (Y7)	D10		RiskLaplace(36544,284;4685,7611;RiskName("Cunetas en concreto 2"))	-∞	\$ 36.544,29	+∞
encoles y descoles 2 (Y8)	D11		RiskUniform(252213;694979;RiskName("encoles y descoles 2"))	\$ 252.213,00	\$ 473.596,00	\$ 694.979,00
Tuberia de concreto reforzado de 900 mm 2 (Y9)	D12		RiskLaplace(360361,627;10085,8959;RiskName("Tuberia de concreto reforzado de 900 mm 2"))	-∞	\$ 360.361,60	+∞
Lineas de demarcacion con pintura en frio 2 (Y10)	D13		RiskLaplace(1809,548;454,183;RiskName("Lineas de demarcacion con pintura en frio 2"))	-∞	\$ 1.809,55	+∞

Esta simulación se desarrolló con once (11) variables de entrada, diez (10) de ellas asociadas al costo unitario directo de las actividades y una (1) de ellas relacionada con la duración del proyecto; y una (1) variable de salida asociada la costó directo total del proyecto más el costo de administración. Por último la modelación se realizó con diez mil (10.000) iteraciones bajo el método estadístico de Monte Carlo, lo cual nos brinda una mayor confianza sobre los resultados obtenidos.

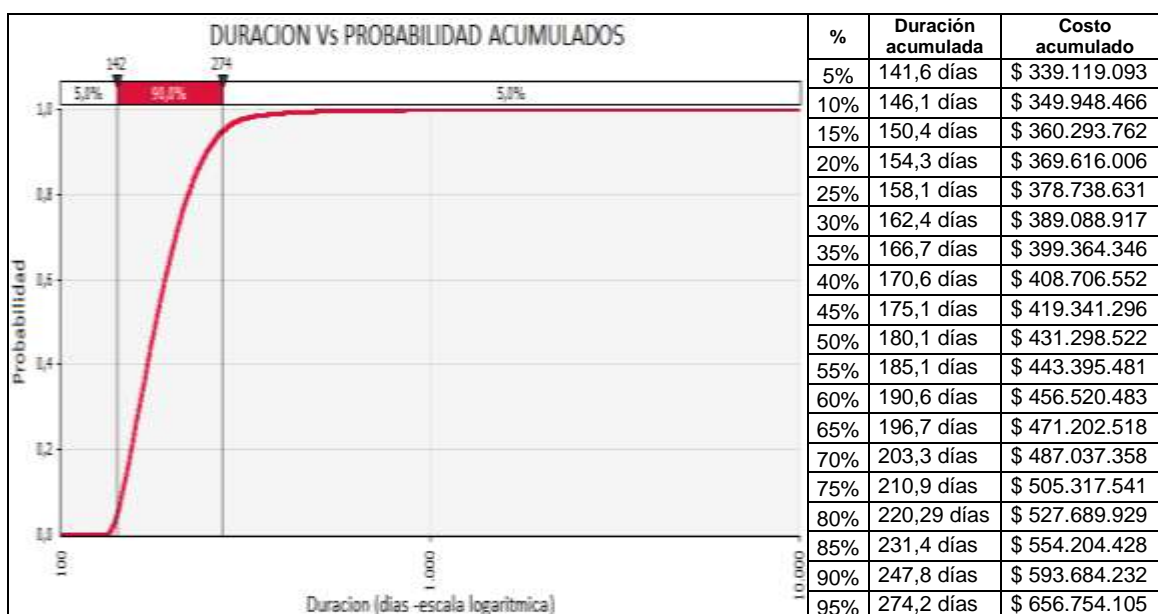


Figura No 5. Datos acumulados de la variable duración del proyecto y de los costos administrativos.

Nota: los costos administrativos considerados en el presente estudio no contemplan los impuestos cobrados por las entidades públicas.

5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 PROGRAMACION DE OBRA

Los resultados obtenidos de la modelación del cronograma de obra se muestran a continuación. En la **Figura No 6** se ve el comportamiento del tiempo total de la obra en función de la probabilidad de ocurrencia, en la cual se muestra una probabilidad del 95% de que la duración del proyecto sea menor o igual a 274 días y una probabilidad del 5% de que la duración del proyecto sea menor o igual a 142 días. Por otra parte en los datos estadísticos adjuntos a la figura, se establecen 194 días como la duración media, lo cual se interpreta como la duración más probable de ocurrencia del caso de estudio; se establecen 180 días como la duración mediana del proyecto que comparado con la media indica que la función de probabilidades del caso de estudio tiene un sesgo positivo; y se establece una desviación estándar de 92,64 días con lo cual se puede establecer un coeficiente de variación de Pearson de 48% mayor al límite del 25% lo que indica que los resultados son muy heterogéneos (Tabla 2.1.6, Tapia, F., 2011), lo que nos indica que hay una gran incertidumbre al momento de definir la duración del proyecto.

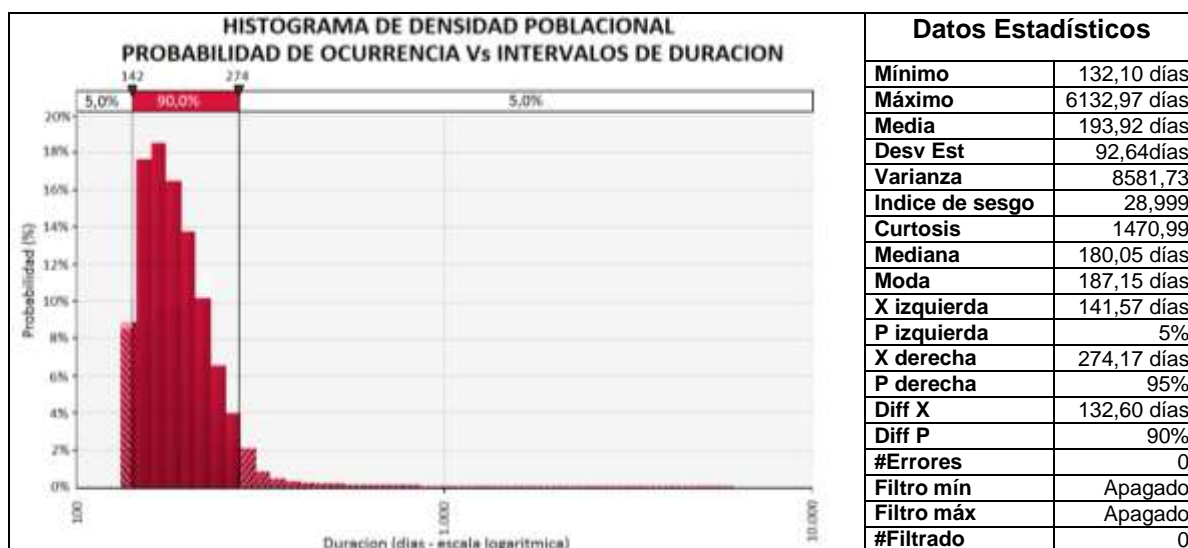


Figura No 6. Resultados de salida para la duración del proyecto vs probabilidad de ocurrencia.

En la **Figura No 7** se muestran los resultados acumulados de la duración del proyecto versus su probabilidad de ocurrencia. Dada la variabilidad de los datos, de esta grafica podemos tomar un punto de referencia superior a la media cuya probabilidad de ocurrencia es del 62% y a la mediana cuya probabilidad de ocurrencia es del 50%, que esté de acuerdo al nivel de riesgo que se quiera tomar al momento de definir una duración estimada del proyecto que garantice una contingencia, para este caso se tomara una probabilidad de ocurrencia del 80% (Jajuga, K. 2009), equivale a 220 días como referencia de riesgo asumido.

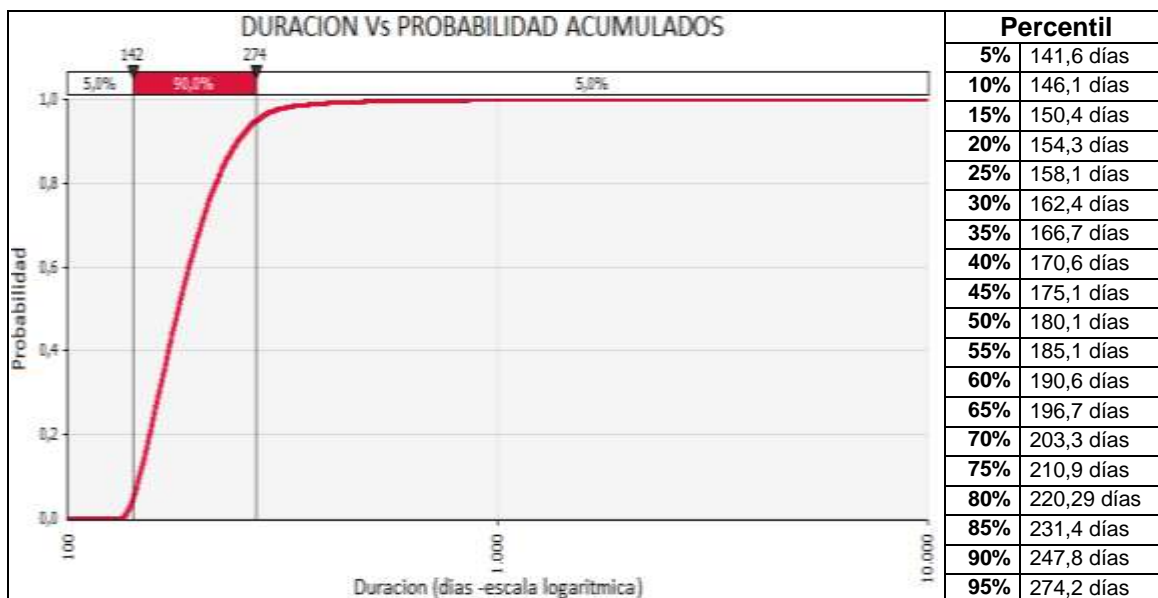


Figura No 7. Resultados de salida para la duración acumulada del proyecto vs probabilidad de ocurrencia.

En la **Figura No 8** se muestran el análisis de sensibilidad de las actividades como variables, sobre la duración total del proyecto comparado con la media de 194 días como línea base establecida. Esta figura se basa en los datos tabulados en la **Tabla No 16** donde se establecen los límites superiores e inferiores de la duración del proyecto bajo los efectos del rango de media de cada actividad mostrados en la **Tabla No 17**.



Figura No 8. Análisis de sensibilidad del cronograma

Donde el rango medio es el intervalo de variación de la actividad en relación a la función de probabilidad que la compone, obtenidos por el análisis de sensibilidad de cada actividad.

Tabla No 16. Rangos de sensibilidad del cronograma

Cambio en la estadística de salida de PROYECTO TIMBA RIO CLARO TRAMO 1 / Duración			
Jerarquía	Nombre	Inferior	Superior
1	Base	161,5 días	261,2 días
2	Carpeta Asfáltica	183,3 días	257,4 días
3	Cajeo	189,1 días	231,4 días
4	Cunetas en concreto	186,6 días	214,4 días
5	Conformación de sub-rasante	188,9 días	202,6 días
6	líneas de demarcación con pintura en frio	189,3 días	200,0 días
7	Imprimación	190,4 días	198,0 días
8	encoles y descoles	191,4 días	199,0 días
9	Sub-base	190,2 días	197,2 días
10	tubería de concreto reforzado de 900 mm	191,1 días	197,1 días

Por otra parte, de los datos obtenidos de la **Figura No 8** y la **Tabla No 16** se puede inferir que las actividades con mayor incidencia en la duración del proyecto son la “Base”, la “Carpeta Asfáltica”, el “Cajeo” y las “Cunetas en concreto”, esto debido a las grandes cantidades de ejecución que contienen estas actividades y a la configuración del cronograma planteado. Dado esto se recomienda hacer un seguimiento estricto de estas actividades y plantear estrategias para reducir la duración, tal como la colocación de más frentes de trabajo y establecer controles a los rendimientos de las maquinarias y cuadrillas para obtener los más óptimos posibles.

Tabla No 17. Análisis de sensibilidad (Rango de Media) del cronograma

Jerarquía	Celda	Nombre	Descripción	PROYECTO TIMBA RIO CLARO TRAMO 1 / Dur Rango de Media
#1	D7	Base	RiskPert(120,91;120,91;368,59;RiskName("Base"))	99,77
#2	D9	Carpeta Asfáltica	RiskPareto(3,702;88,338;RiskName("Carpeta Asfaltica"))	74,03
#3	D4	Cajeo	RiskPareto(1,6073;13,544;RiskName("Cajeo"))	42,33
#4	D13	Cunetas en concreto	RiskExpon(8,5679;RiskShift(6,329);RiskName("Cunetas en concreto"))	27,77
#5	D5	Conformación de subreasante	RiskUniform(38,138;77,602;RiskName("Conformacione subreasante"))	13,70
#6	D14	líneas de demarcación con pintura en frio	RiskPareto(4,0722;7,0823;RiskName("lineas de demarcacion con pintura en frio"))	10,78
#7	D8	Imprimación	RiskLaplace(51,0631;9,646;RiskName("Imprimacion"))	7,64
#8	D12	encoles y descoles	RiskRayleigh(2,8777;RiskShift(2,9328);RiskName("encoles y descoles"))	7,64
#9	D6	Sub-base	RiskPert(43,47;46,114;124,82;RiskName("Sub-base"))	6,96
#10	D11	tubería de concreto reforzado de 900 mm	RiskExtvalue(16,4865;4,3302;RiskName("tuberia de concreto reforzado de 900 mm"))	6,00

Los coeficientes de correlación son índices que relacionan una variable de entrada con una variable de salida, estos pueden variar su valor entre -1 y 1. Donde un valor positivo indica una relación directa entre la variable de entrada y la variable de salida y donde un valor negativo indica una relación inversa entre la variable de entrada y la variable de salida.

En la **Figura No 9** se establecen los coeficientes de correlación de la duración de las actividades con la duración total del proyecto. De esta figura se puede inferir que las actividades que afectan de manera más directa la duración del proyecto son la “Base”, la “Carpeta Asfáltica” y las “Cunetas en concreto”, lo cual es consistente con el análisis de sensibilidad de la **Figura No 8**, es de aclarar que el orden jerárquico de la correlación no es el mismo que el del análisis de sensibilidad, esto debido a que la correlación depende más de la configuración del cronograma y de la razón con la que una variable varía.

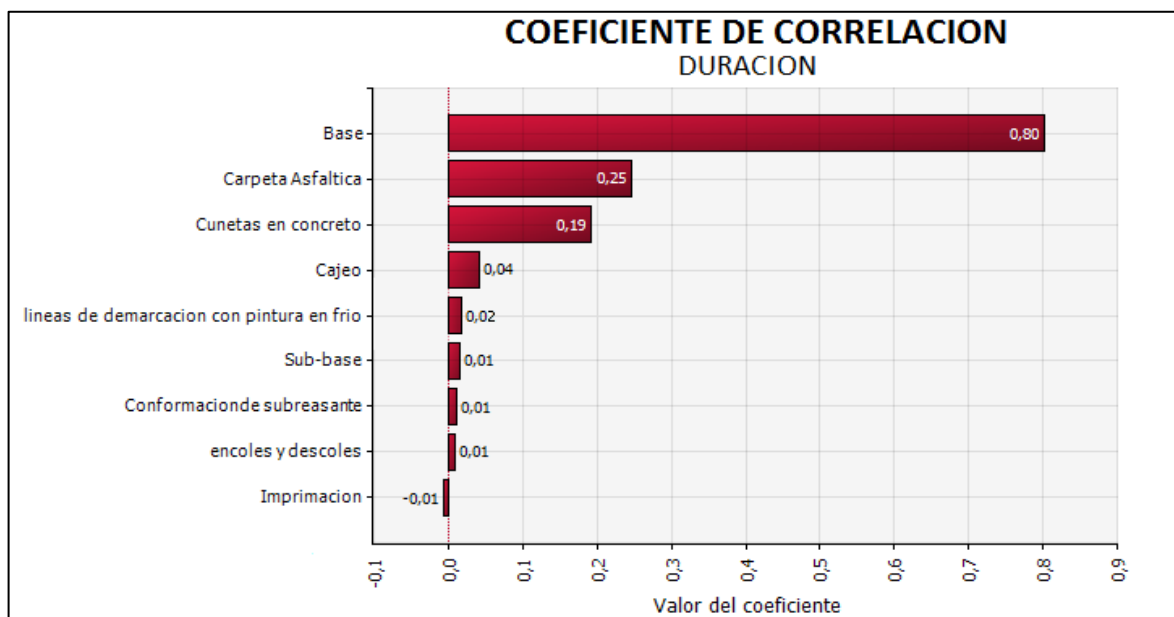


Figura No 9. Coeficiente de correlación jerárquica del cronograma

Para finalizar en la **Tabla No 18** se presenta el análisis de Gantt Probabilístico, en el que se muestra la probabilidad que tiene cada actividad de estar en la ruta crítica del proyecto con base a los datos generados por la simulación de Monte Carlo. De esta tabla se puede inferir que las actividades con más probabilidad de estar en la ruta crítica son la “Carpeta Asfáltica”, la “Base” y las “Cunetas en concreto”

Esto debido a la configuración del cronograma establecido en la **Figura No 1** y en la **Tabla No 10**, donde la ruta crítica principal está claramente establecida entre el hito de inicio, la “Base”, la “Carpeta asfáltica” y las “Cunetas en concreto”; y a las mayores cantidades que la “Base” y la “Carpeta asfáltica” tienen en el caso de

estudio. Cabe aclarar que la “Sub-base”, el “Cajeo” y la conformación de “Sub-rasante” no están dentro de la ruta crítica debido principalmente a las menores cantidades que poseen dentro del caso de estudio; y aunque la actividad “base” depende de estas actividades para poder ser terminada, estas pueden desarrollarse en el transcurso de la obra de manera intermitente siempre garantizando avance suficiente para que la actividad de la “Base” nunca se detenga por falta de espacio de trabajo acondicionado para su ejecución.

Para finalizar los resultados de la **Tabla No 18** de análisis del Gantt probabilístico son consistentes con el análisis de correlación de la **Figura No 9**.

Tabla No 18. Análisis de Gantt Probabilístico

ID	Nombre de tarea	Inicio determinado	Terminación determinada	Índice crítico%
1	PROYECTO TIMBA RIO CLARO TRAMO 1	lun 12/9/11	mar 22/5/12	n/a
2	INICIO	lun 12/9/11	lun 12/9/11	100%
4	EXCAVACION CAJEO	lun 12/9/11	lun 31/10/11	2%
5	CONFORMACION DE CALZADA (sub-rasante)	mar 13/9/11	jue 1/12/11	2%
7	SUB-BASE GRANULAR	mié 14/9/11	lun 5/12/11	2%
9	BASE GRANULAR	jue 15/9/11	lun 30/4/12	86%
11	IMPRIMACION	vie 17/2/12	lun 30/4/12	0%
12	CARPETA ASFALTICA	lun 14/11/11	mar 1/5/12	100%
13	HITO DE FIN CARPETA	mar 1/5/12	mar 1/5/12	100%
14	TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO	mar 4/10/11	lun 31/10/11	0%
15	CAJAS DE ENCOLE Y CABEZALES (CONC 3000PSI)	lun 31/10/11	mié 9/11/11	0%
16	CUNETAS	mar 1/5/12	mar 22/5/12	73%
17	LINEAS DE DEMARCACION	mar 1/5/12	lun 14/5/12	27%
18	FIN	mar 22/5/12	mar 22/5/12	100%

5.2 PRESUPUESTO COSTOS DIRECTOS

Los resultados obtenidos de la modelación del costo directo se muestran a continuación. En la **Figura No 10** se ve claramente el comportamiento del costo directo de la obra en función de la probabilidad de ocurrencia, en la cual se muestra una probabilidad del 95% de que el costo directo del proyecto sea menor o igual a \$ 6.985.150.389 y una probabilidad del 5% de que el costo directo sea menor o igual a \$ 3.453.233.813. Por otra parte en los datos estadísticos adjuntos a la figura se establecen \$ 5.213.042.817 como el costo directo medio, lo cual se interpreta como el costo más probable de ocurrencia del caso de estudio; se establecen \$ 5.207.317.306 como el costo directo mediano del proyecto que comparado con la media indica que la función de probabilidades del caso de estudio tiene poco sesgo positivo; y se establece una desviación estándar de \$ 1.073.225.384 con lo cual se puede establecer un coeficiente de variación de Pearson de 21% que está entre los límites de 16% y 25% lo que indica que los resultados son heterogéneos (Tabla 2.1.6, Tapia, F., 2011), lo que nos indica que hay una importante incertidumbre al momento de definir el costo directo estimado del proyecto.

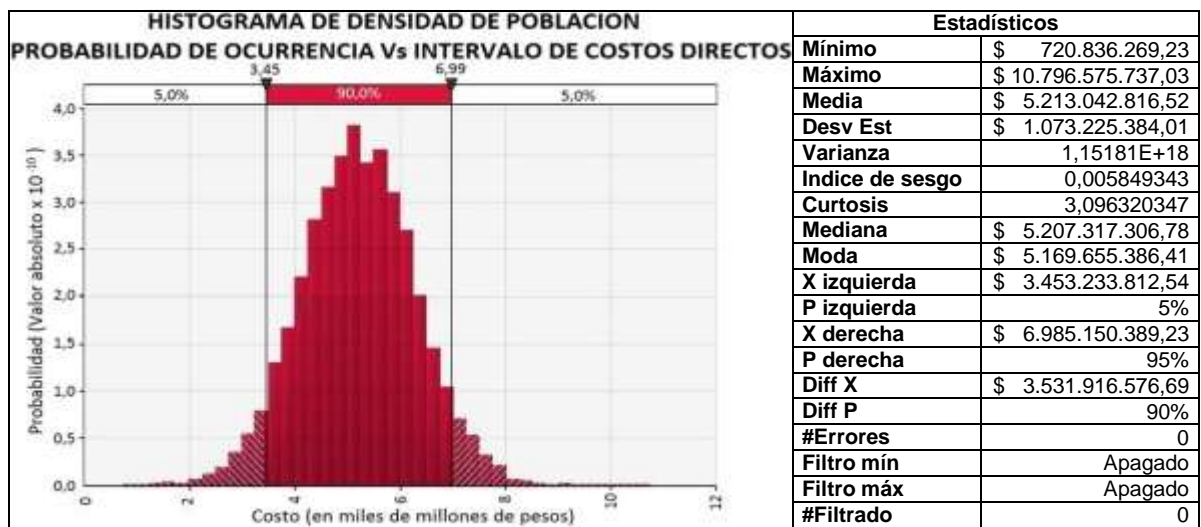


Figura No 10. Resultados de salida del costo directo vs probabilidad de ocurrencia.

En la **Figura No 11** se muestran los resultados acumulados del costo directo del proyecto versus su probabilidad de ocurrencia. De esta grafica podemos tomar un punto de referencia superior a la media cuya probabilidad de ocurrencia es del 50,2% y a la mediana cuya probabilidad de ocurrencia es del 50%, que esté de acuerdo al nivel de riesgo que se quiera tomar al momento de definir el costo directo estimado del proyecto, para este caso se tomara una probabilidad de ocurrencia del 80% (Jajuga, K. 2009), el cual equivale a \$ 6.111.745.013 como punto de referencia de riesgo asumido.



Figura No 11. Resultados de salida para el costo directo acumulada del proyecto vs probabilidad de ocurrencia.

En la **Figura No 12** se muestran el análisis de sensibilidad de las actividades como variables, sobre el costo directo total del proyecto comparado con la media

de \$ 5.213.042.816 como línea base establecida. Esta figura se basa en los datos tabulados en la **Tabla No 19** donde se establecen los límites superiores e inferiores del costo directo del proyecto bajo los efectos del rango de media de cada actividad mostrados en la **Tabla No 20**.

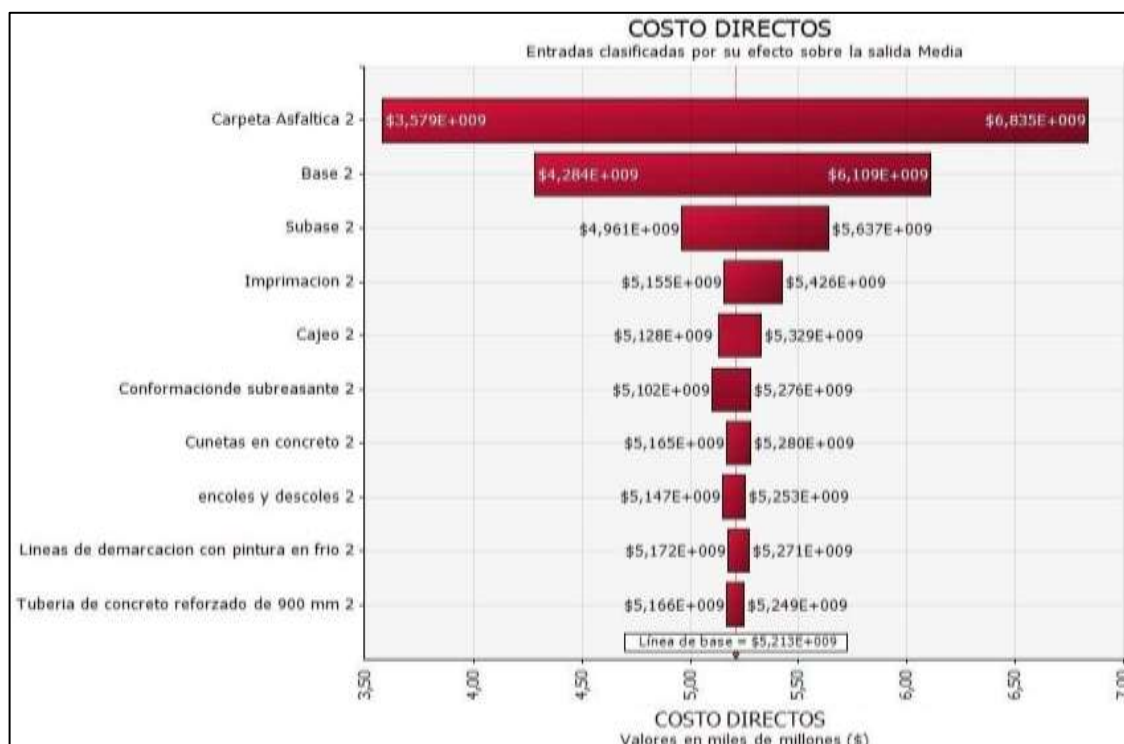


Figura No 12. Análisis de sensibilidad del costo directo

Tabla No 19. Rangos de sensibilidad del costo directo

Cambio en la estadística de salida de TOTAL COSTO DIRECTOS / Costo total			
Jerarquía	Nombre	Inferior	Superior
1	Carpeta Asfáltica 2	\$ 3.578.783.477,47	\$ 6.834.938.714,81
2	Base 2	\$ 4.283.542.165,82	\$ 6.108.634.056,60
3	Sub-base 2	\$ 4.961.487.482,72	\$ 5.636.590.047,82
4	Imprimación 2	\$ 5.155.141.649,21	\$ 5.426.485.512,05
5	Cajeo 2	\$ 5.128.297.395,83	\$ 5.329.171.195,08
6	Conformación de sub-rasante 2	\$ 5.101.661.282,78	\$ 5.275.935.547,60
7	Cunetas en concreto 2	\$ 5.165.416.952,25	\$ 5.279.690.540,46
8	encoles y descoles 2	\$ 5.146.818.748,37	\$ 5.252.735.762,02
9	Líneas de demarcación con pintura en frío 2	\$ 5.171.523.677,95	\$ 5.270.836.205,95
10	Tubería de concreto reforzado de 900 mm 2	\$ 5.166.377.774,24	\$ 5.249.333.931,41

Por otra parte, de los datos obtenidos de la **Figura No 12** y la **Tabla No 19** se puede inferir que las actividades con mayor incidencia en costo directo del proyecto son la “Carpeta Asfáltica”, la “Base” y la “Sub-Base”, esto debido al alto costo probable de su valor unitario. Dado esto se recomienda hacer un seguimiento estricto de estas actividades y plantear estrategias para reducir los costos de ejecución y realizar una buena labor a la hora de escoger el proveedor de los insumos a utilizar.

Tabla No 20. Análisis de sensibilidad (Rango de Media) del costo directo

Jerarquizar para E14	Celda	Nombre	Descripción	Hoja1!E14 TOTAL COSTO DIRECTOS / Costo total Rango de Media
#1	D9	Carpeta Asfáltica 2	RiskNormal(443866;140334;RiskName("Carpeta Asfáltica 2"))	\$ 3.256.155.237,34
#2	D7	Base 2	RiskLaplace(91255,113;35464,6703;RiskName("Base 2"))	\$ 1.825.091.890,78
#3	D6	Sub-base 2	RiskExtvalue(78353;31063;RiskName("Subbase 2"))	\$ 675.102.565,11
#4	D8	Imprimación 2	RiskPareto(3,0047;1292,2;RiskName("Imprimación 2"))	\$ 271.343.862,84
#5	D4	Cajeo 2	RiskUniform(5202,2;26751;RiskName("Cajeo 2"))	\$ 200.873.799,24
#6	D5	Conformación de sub-rasante 2	RiskUniform(190,89;2890,4;RiskName("Conformación de sub-rasante 2"))	\$ 174.274.264,82
#7	D10	Cunetas en concreto 2	RiskLaplace(36544,284;4685,7611;RiskName("Cunetas en concreto 2"))	\$ 114.273.588,22
#8	D11	encoles y descoles 2	RiskUniform(252213;694979;RiskName("encoles y descoles 2"))	\$ 105.917.013,66
#9	D13	Líneas de demarcación con pintura en frio 2	RiskLaplace(1809,548;454,183;RiskName("Líneas de demarcación con pintura en frio 2"))	\$ 99.312.528,00
#10	D12	Tubería de concreto reforzado de 900 mm 2	RiskLaplace(360361,627;10085,8959;RiskName("Tubería de concreto reforzado de 900 mm 2"))	\$ 82.956.157,17

En la **Figura No 13** se establecen los coeficientes de correlación del costo de las actividades con el costo directo total del proyecto. De esta figura se puede inferir que las actividades que afectan de manera más directa el costo del proyecto son la “Carpeta Asfáltica”, la “Base” y la “Sub-Base”, lo cual es consistente con el análisis de sensibilidad de la **Figura No 12**.

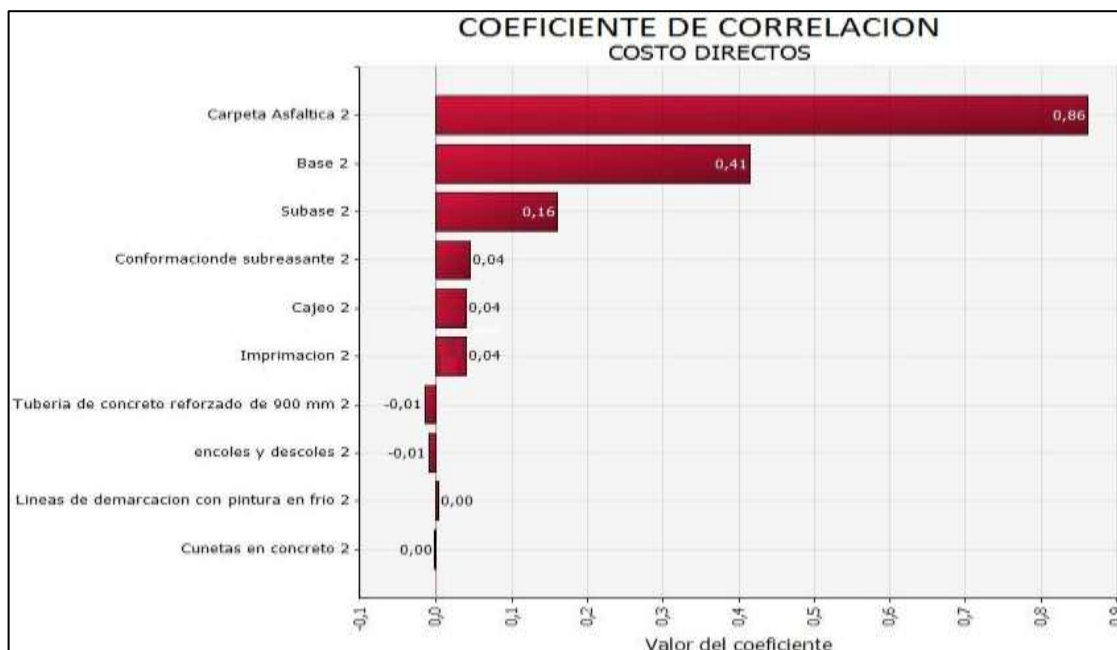


Figura No 13. Coeficiente de correlación jerárquica del costo directo

5.3 PRESUPUESTO COSTOS TOTALES

Los resultados obtenidos de la modelación del costo total se muestran a continuación. En la **Figura No 14** se ve claramente el comportamiento del costo directo más administración de la obra en función de la probabilidad de ocurrencia, en la cual se muestra una probabilidad del 95% de que el costo total del proyecto sean menores o iguales a \$ 7.464.954.017 y una probabilidad del 5% de que el costo total del proyecto sea menor o igual a \$ 3.927.337.569, por otra parte en los datos estadísticos adjuntos a la figura se establecen \$ 5.675.449.753 como el costo total medio lo cual se interpreta como el costo más probable de ocurrencia del caso de estudio; se establecen \$ 5.667.515.758 como la mediana del costo total del proyecto que comparado con la media indica que la función de probabilidades del caso de estudio tiene poco sesgo positivo; y se establece una desviación estándar de \$ 1.085.734.762 con lo cual se puede establecer un coeficiente de variación de Pearson de 19% que está entre los límites de 16% y 25% lo que indica que los resultados son heterogéneos (Tabla 2.1.6, Tapia, F., 2011), lo que nos indica que hay una importante incertidumbre al momento de definir el costo total estimado del proyecto.

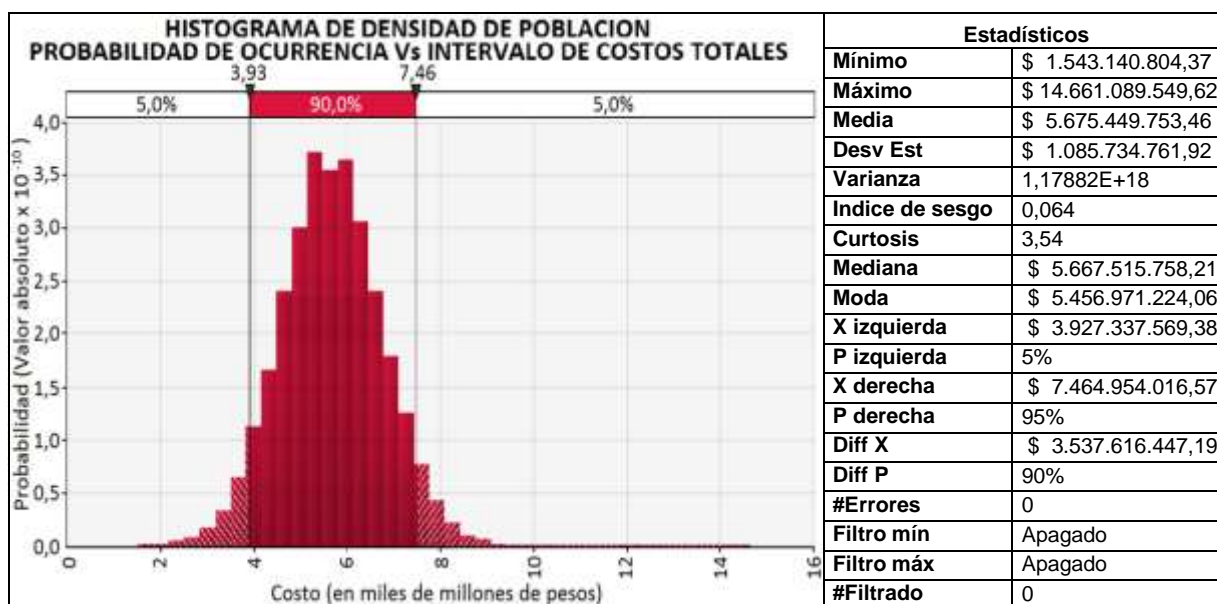


Figura No 14. Resultados de salida del costo directo más administración vs probabilidad de ocurrencia.

En la **Figura No 14** se muestran los resultados acumulados del costo total del proyecto versus su probabilidad de ocurrencia. De esta grafica podemos tomar un punto de referencia superior a la media cuya probabilidad de ocurrencia es del 50,3% y a la mediana cuya probabilidad de ocurrencia es del 50%, que esté de acuerdo al nivel de riesgo que se quiera tomar al momento de definir un estimado del costo directo más administración del proyecto, para este caso se tomara una

probabilidad de ocurrencia del 80% (Jajuga, K. 2009), el cual equivale a \$6.577.027.996 como punto de referencia de riesgo asumido.

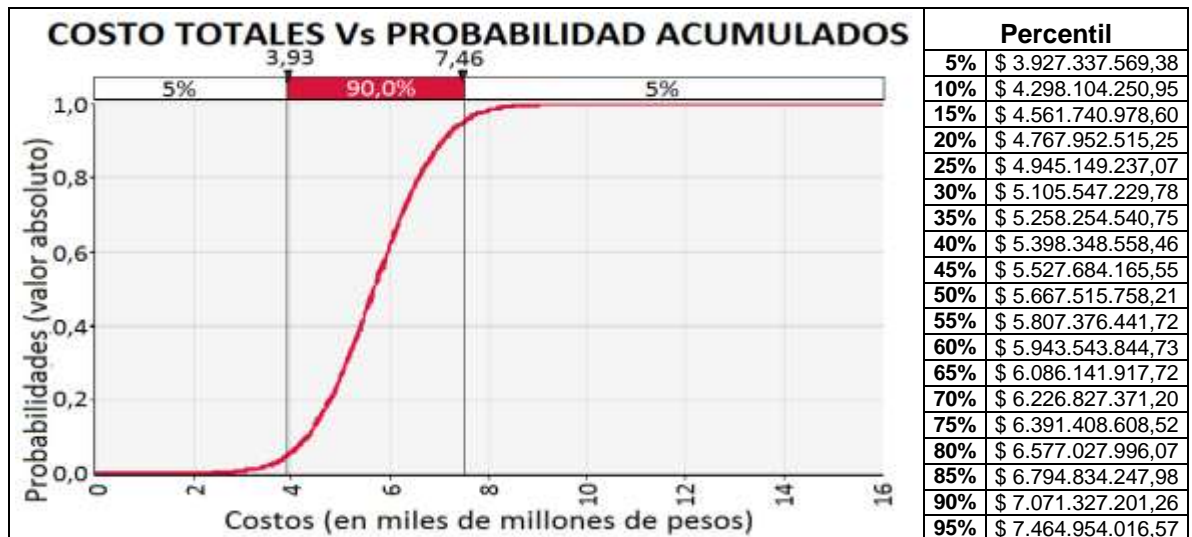


Figura No 15. Resultados de salida para la duración acumulada del proyecto vs probabilidad de ocurrencia.

En la **Figura No 16** se muestran el análisis de sensibilidad de las actividades y el costo administrativo (en función de la duración) como variables sobre el costo total del proyecto, comparado con la media de \$ 5.675.449.753 como línea base establecida. Esta figura se basa en los datos tabulados en la **Tabla No 21** donde se establecen los límites superiores e inferiores del costo total del proyecto bajo los efectos del rango de media de cada variable mostrados en la **Tabla No 22**.

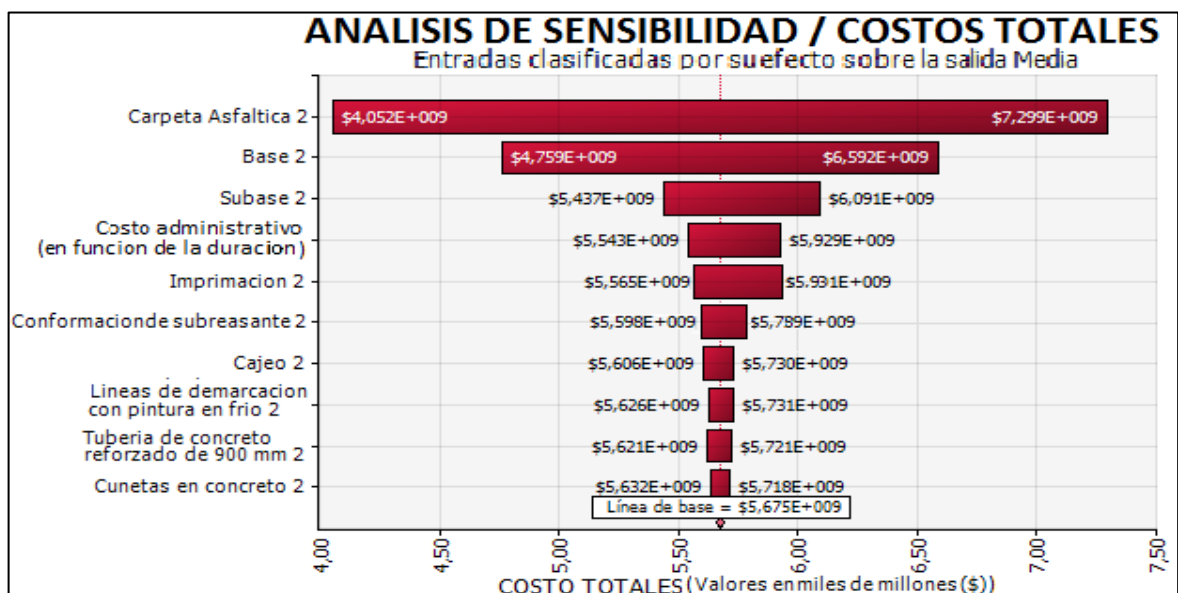


Figura No 16. Análisis de sensibilidad del costo directo más administración

Tabla No 21. Rangos de sensibilidad del costo directo más administración

Cambio en la estadística de salida de TOTAL COSTO DIRECTOS + ADMINISTRATIVOS / COSTOS ADMINISTRATIVOS			
Jerarquía	Nombre	Inferior	Superior
1	Carpeta Asfáltica 2	\$ 4.052.008.852,56	\$ 7.298.735.809,91
2	Base 2	\$ 4.759.254.579,32	\$ 6.591.565.365,59
3	Sub-base 2	\$ 5.436.942.301,59	\$ 6.091.202.030,37
4	Duración	\$ 5.542.585.521,52	\$ 5.928.561.482,26
5	Imprimación 2	\$ 5.565.209.394,47	\$ 5.931.399.480,76
6	Conformación de sub-rasante 2	\$ 5.597.634.235,50	\$ 5.788.552.586,30
7	Cajeo 2	\$ 5.606.431.867,53	\$ 5.729.693.418,48
8	Líneas de demarcación con pintura en frio 2	\$ 5.625.816.290,05	\$ 5.731.080.871,49
9	Tubería de concreto reforzado de 900 mm 2	\$ 5.620.805.241,55	\$ 5.720.797.105,19
10	Cunetas en concreto 2	\$ 5.632.377.800,05	\$ 5.718.073.466,82
11	Carpeta Asfáltica 2	\$ 4.052.008.852,56	\$ 7.298.735.809,91

De los datos obtenidos de la **Figura No 16** y la **Tabla No 21** se puede inferir que las variables con mayor incidencia en costo del proyecto son la “Carpeta Asfáltica”, la “Base”, la “Sub-Base” y los “Costo administrativo” (en función de la duración), esto debido al alto costo probable del valor unitario para el caso de las variables asociadas a actividades y en el caso de los costos administrativos esto se debe al alto costo de la administración diaria.

Tabla No 22. Análisis de sensibilidad (Rango de Media) del costo directo más administración

jerarq para E19	Cel.	Nombre	Descripción	E19 - TOTAL COSTO DIRECTOS + ADMINISTRATIVO Rango de Media
#1	D9	Carpeta Asfáltica 2	RiskNormal(443866;140334;RiskName("Carpeta Asfaltica 2"))	\$ 3.246.726.957,36
#2	D7	Base 2	RiskLaplace(91255,113;35464,6703;RiskName("Base 2"))	\$ 1.832.310.786,27
#3	D6	Sub-base 2	RiskExtvalue(78353;31063;RiskName("Subase 2"))	\$ 654.259.728,78
#4	C17	“Costo administrativo” (en función de la duración)	RiskLognorm2(3,9514;0,70788;RiskShift(125,98);RiskName("Duracion"))	\$ 385.975.960,74
#5	D8	Imprimación 2	RiskPareto(3,0047;1292,2;RiskName("Imprimación 2"))	\$ 366.190.086,29
#6	D5	Conformación de sub-rasante 2	RiskUniform(190,89;2890,4;RiskName("Conformaciond e subreasante 2"))	\$ 190.918.350,80
#7	D4	Cajeo 2	RiskUniform(5202,2;26751;RiskName("Cajeo 2"))	\$ 123.261.550,94
#8	D13	Líneas de demarcación con pintura en frio 2	RiskLaplace(1809,548;454,183;RiskName("Líneas de demarcación con pintura en frio 2"))	\$ 105.264.581,45
#9	D12	Tubería de concreto reforzado de 900 mm 2	RiskLaplace(360361,627;10085,8959;RiskName("Tuber ía de concreto reforzado de 900 mm 2"))	\$ 99.991.863,64
#10	D10	Cunetas en concreto 2	RiskLaplace(36544,284;4685,7611;RiskName("Cunetas en concreto 2"))	\$ 85.695.666,78
#11	D11	encoles y descoles 2	RiskUniform(252213;694979;RiskName("encoles y descoles 2"))	\$ 75.898.872,92

En la **Figura No 17** se establecen los coeficientes de correlación del costo de las variables con el costo total del proyecto. De esta figura se puede inferir que las actividades que afectan de manera más directa el costo del proyecto son la “Carpeta Asfáltica”, la “Base”, la “Sub-Base” y los “Costo administrativo” (en función de la duración), lo cual es consistente con el análisis de sensibilidad de la **Figura No 16**.

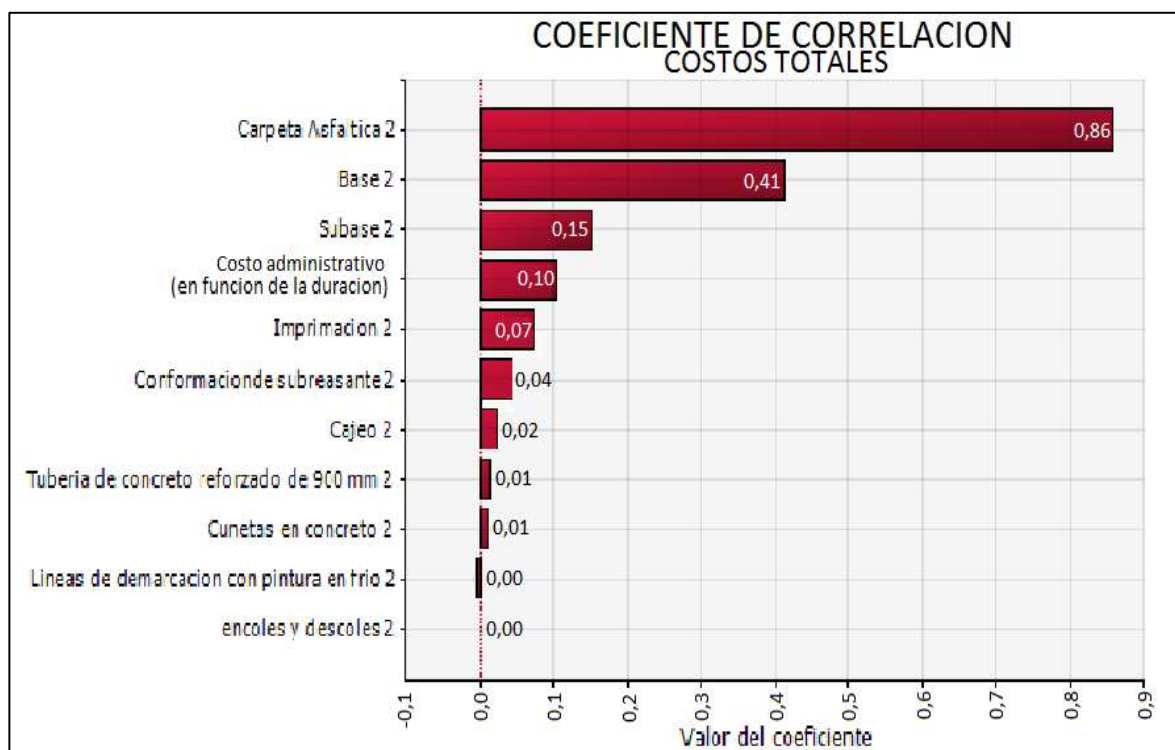


Figura No 17. Coeficiente de correlación jerárquica del costo directo más administración

De este análisis se puede establecer que los costos administrativos que están en función del tiempo total de ejecución de la obra son un factor que afecta de manera importante el costo total de la obra.

5.4 ANALISIS DE LAS CAUSA QUE AFECTAN LAS VARIABLES

5.4.1 CAUSAS QUE AFECTAN LOS TIEMPOS EN OBRA

Con base en los datos obtenidos de **Anexo No 1**, a continuación en las **Tablas No 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31** se establecen algunas causas que impactan los rendimientos de algunas actividades, su porcentaje de ocurrencia y el promedio de magnitud del evento cuando se presenta, es decir que porcentaje puede afectar la duración de la actividad.

Dónde:

- **No de datos:** es la cantidad de datos que en este caso son el número de proyectos de la base de datos que contienen la actividad analizada.
- **No de eventos:** es el número de veces que el evento se presentó en el No de datos analizados.

- **Porcentaje de ocurrencia de eventos:** es la relación entre el No de eventos y el número de datos

$$\% \text{ de ocurrencia} = \frac{\text{No de eventos}}{\text{No de datos}} \times 100\%$$

- **Promedio de magnitud de eventos:** es el promedio de la relación que existe entre la duración total de la actividad y el tiempo que el evento retraso la actividad (solo se utilizaron los datos de proyectos donde se presentó el evento).

$$\text{Promedio de magnitud de eventos} = \frac{\left(\sum \frac{\text{duracion del evento}}{\text{duracion de la actividad}} \right)}{\text{No de eventos}}$$

- **Máxima proporción de evento:** es el dato de mayor impacto de lo analizado en la actividad, que refleja la relación que existe entre la duración total de la actividad y el tiempo que el evento retraso la actividad.

$$\frac{\text{duracion del evento maximo}}{\text{duracion de la actividad}}$$

- **Lluvias:** este evento meteorológico es catalogado como una causa exógena que genera retraso en la actividad analizada.
- **Daños mecánicos:** este evento se refiere a los daños en los equipos que van a ser utilizados en el desarrollo de las actividades y los cuales son catalogados como una causa endógena de retraso en la ejecución de la actividad.
- **Especificaciones Técnicas:** este evento está asociado a los cambios de especificaciones técnicas en el desarrollo de una actividad, como por ejemplo un cambio inesperado en el trazado de la vía, un ajuste al diseño de mezclas del asfalto o problemas de calidad en los materiales; este evento es catalogado como una causa endógena de retraso en la ejecución de la actividad.
- **Falta de personal:** este evento se refiere a la falta de personal que van a desarrollar las actividades y el cual es catalogado como una causa endógena de retraso en la ejecución de la actividad.
- **Falta de suministro:** este evento se refiere a la falta de suministro de material que se va a utilizar en las actividades y el cual es catalogado como una causa endógena de retraso en la ejecución de la actividad.

Tabla No 23. Causas de bajos rendimientos de la actividad – Cajeo

Cajeo			
	lluvias	daños mecánicos	especif. Técnicas
No de datos	14	14	14
No de eventos	10	7	1
Porcentaje de ocurrencia de eventos	71,4%	50,0%	7,1%
Promedio de magnitud de eventos	12,7%	7,1%	1,7%
Máxima proporción de evento	21,1%	14,3%	1,7%

Tabla No 24. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Conformación de sub-rasante

Conformación de sub-rasante		
	lluvias	especif. Técnicas
No de datos	9	9
No de eventos	4	1
Porcentaje de ocurrencia de eventos	44,4%	11,1%
Promedio de magnitud de eventos	13,2%	4,8%
Máxima proporción de evento	20,0%	4,8%

Tabla No 25. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Sub-Base

Sub-Base			
	lluvias	daños mecánicos	especif. Técnicas
No de datos	12	12	12
No de eventos	10	5	1
Porcentaje de ocurrencia de eventos	83,3%	41,7%	8,3%
Promedio de magnitud de eventos	7,6%	3,3%	2,3%
Máxima proporción de evento	15,6%	9,1%	2,3%

Tabla No 26. Causas de bajos rendimientos de la actividad – Base

Base			
	lluvias	daños mecánicos	falta de personal
No de datos	12	12	12
No de eventos	9	5	2
Porcentaje de ocurrencia de eventos	75,0%	41,7%	16,7%
Promedio de magnitud de eventos	7,2%	5,2%	4,4%
Máxima proporción de evento	16,7%	16,7%	5,9%

Tabla No 27. Causas de bajos rendimientos de la actividad – Imprimación

Imprimación	
	lluvias
No de datos	12
No de eventos	1
Porcentaje de ocurrencia de eventos	8,3%
Promedio de magnitud de eventos	2,2%
Máxima proporción de evento	2,2%

Tabla No 28. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Carpeta asfáltica

Carpeta asfáltica					
	lluvias	daños mecánicos	especif. Técnicas	falta de personal	falta de suministro
No de datos	12	12	12	12	12
No de eventos	8	6	3	1	4
Porcentaje de ocurrencia de eventos	66,7%	50,0%	25,0%	8,3%	33,3%
Promedio de magnitud de eventos	6,2%	4,2%	10,2%	0,9%	9,6%
Máxima proporción de evento	10,0%	9,6%	20,0%	0,9%	17,4%

Tabla No 29. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Cuneta de concreto

Cuneta de concreto		
	lluvias	falta de personal
No de datos	11	11
No de eventos	4	2
Porcentaje de ocurrencia de eventos	36,4%	18,2%
Promedio de magnitud de eventos	7,5%	8,6%
Máxima proporción de evento	10,5%	10,5%

Tabla No 30. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Encole y descole (concreto)

Encole y descole (concreto)	
	lluvias
No de datos	6
No de eventos	1
Porcentaje de ocurrencia de eventos	16,7%
Promedio de magnitud de eventos	7,0%
Máxima proporción de evento	7,0%

Tabla No 31. Causas de bajos rendimientos de la actividad - Líneas de demarcación con pintura en frio

líneas de demarcación con pintura en frio	
	lluvias
No de datos	10
No de eventos	3
Porcentaje de ocurrencia de eventos	30,0%
Promedio de magnitud de eventos	14,9%
Máxima proporción de evento	22,2%

Con la información obtenida de las causa que impactan el tiempo, se puede determinar que las actividades analizadas con base a los datos registrados en las bitácoras de los proyectos que hacen parte de la base de datos, se vieron afectadas en cierta medida por las causas asociadas en la **Tabla No 32**, siendo la “lluvia”, los “daños mecánico” y los problemas de “especificaciones técnicas” las causa que afectaron a la mayor cantidad de actividades, donde el “Cajeo”, la “Base, la “Sub-Base” y la “Carpeta Asfáltica” se vieron más afectadas por las causas mencionadas.

Tabla No 32. Matriz de causas que afectan la duración de las actividades

Actividad	causa de retrasos				
	lluvias	daños mecánicos	especif. Técnicas	falta de personal	falta de suministro
Cajeo	X	X	X		
Base	X	X	X		
Carpeta asfáltica	X	X	X	X	X
Conformación de sub-rasante	X		X		
Cuneta de concreto	X			X	
Encole y descole (concreto)	X				
Imprimación	X				
líneas de demarcación con pintura en frío	X				
Sub-Base	X	X	X		
tubería de concreto reforzado de 900 mm	X				

Para finalizar, se puede establecer de manera cualitativa con las tablas anteriores que la lluvia tiene un gran impacto en el desarrollo de la obra, principalmente en las actividades de movimiento de tierra y colocación de asfalto, dado que su presencia interfiere de manera directa en el proceso de ejecución de estas actividades.

5.4.2 CAUSAS QUE AFECTAN LOS COSTO EN OBRA

Con base en los datos obtenidos del **Anexo No 1**, a continuación en las **Tablas No 30, 31, 32 y 33** se establecen algunas causas que impactan los costos unitarios de algunas actividades, su porcentaje de ocurrencia y el promedio de magnitud del evento cuando se presenta, es decir que porcentaje puede afectar el costo de la actividad.

Dónde:

- **Trasporte de equipos:** este evento se refiere al incremento del costo de las actividades por el transporte de la maquinaria amarilla que se usa para su ejecución.
- **Retiro de material o acarreo:** este evento se refiere al incremento del costo de los insumos por efecto del transporte de material desde la planta de producción hasta la obra en el caso de las actividades de la “Base”, “Sub-base” y “Carpeta Asfáltica”; y al incremento del costo del retiro del material de excavación por el efecto de la distancia entre el botadero hasta la obra en el caso de la actividad del “Cajeo”.

Tabla No 33. Causas de aumento del costo unitario de la actividad - Cajeo

Cajeo		
	Trasporte de equipos	Retiro de material o acarreo
No de datos	14	14
No de eventos	4	11
Porcentaje de ocurrencia de eventos	28,6%	78,6%
Promedio de magnitud de eventos	1,0%	66,5%
Máxima proporción de evento	1,8%	86,3%

Tabla No 34. Causas de aumento del costo unitario de la actividad – Base

Base		
	Trasporte de equipos	Retiro de material o acarreo
No de datos	14	14
No de eventos	4	11
Porcentaje de ocurrencia de eventos	28,6%	78,6%
Promedio de magnitud de eventos	0,5%	35,0%
Máxima proporción de evento	1,4%	62,3%

Tabla No 35. Causas de aumento del costo unitario de la actividad - Carpeta Asfáltica

Carpeta Asfáltica		
	Trasporte de equipos	Retiro de material o acarreo
No de datos	13	13
No de eventos	4	9
Porcentaje de ocurrencia de eventos	30,8%	69,2%
Promedio de magnitud de eventos	0,5%	11,8%
Máxima proporción de evento	1,5%	27,6%

Tabla No 36. Causas de aumento del costo unitario de la actividad – Sub Base

Sub-base		
	Trasporte de equipos	Retiro de material o acarreo
No de datos	12	12
No de eventos	4	9
Porcentaje de ocurrencia de eventos	33,3%	75,0%
Promedio de magnitud de eventos	0,4%	37,6%
Máxima proporción de evento	0,8%	63,2%

De las anteriores tablas se puede establecer de manera cualitativa, con base en los datos obtenidos de los presupuestos de los proyectos utilizados como base de datos, que para la actividad del “Cajeo” la causa más importante de incremento del costo es el retiro de tierra proveniente de la excavación dado que el acarreo de este material genera gran variabilidad en el costo debido a la distancia entre el botadero y la obra; por otra parte para el caso de la “Base”, la “Sub-Base” y la “Carpeta Asfáltica” la causa de incremento más importante es el acarreo de los insumos dado que el acarreo de este material genera gran variabilidad en el costo debido a la distancia entre la planta y el sitio de la obra.

6 COMPARATIVO DEL PROYECTO MODELO CON LA REALIDAD

Es de suma importancia para el desarrollo de este estudio establecer una comparación de los datos obtenidos de la modelación del programa y del costo directo con la información real del caso de estudio, pues esto permite corroborar la configuración de los modelos y establecer si estos están bien fundamentados y representan el posible comportamiento de un proyecto de similares características.

En este orden de ideas se puede decir que de acuerdo a los datos de las **Figuras No 10 y 11** de la modelación del costo directo, existe una probabilidad del 40,6 % de que el costo directo del proyecto sea menor o igual al costo directo real, que equivale a \$ 4.956.455.280,96. De la misma manera se puede establecer que el costo directo real está muy cercano a la media que es de \$ 5.213.042.816.

De la misma forma se puede decir que de acuerdo a los datos de las **Figuras No 6 y 7** de la modelación del cronograma, existe una probabilidad del 63,6 % de que la duración del proyecto sea menor o igual a la duración real, que equivale a 195 días hábiles. Igualmente se puede establecer que la duración real está muy cercana a la media que es de 194 días hábiles.

Partiendo de lo dicho anteriormente se puede definir que los modelos planteados en el presente documento refleja de manera acertada los datos reales del caso de estudio, ubicando la duración y el costo directo real dentro de los datos medios de las simulaciones, lo cual es acorde con lo esperado.

Por otra parte se recomienda que para reducir el tiempo de ejecución del caso de estudio es necesario hacer un seguimiento de las actividades más críticas para garantizar su rápida ejecución y establecer los mejores rendimientos para los equipos de trabajo, siempre garantizando el adecuado suministro de los materiales en el momento justo. De la misma manera es recomendable hacer un seguimiento adecuado de las actividades más sensibles para garantizar el uso adecuado de los insumos, estableciendo las mejores rutas de transporte que garanticen la reducción del costo y realizando la mejor labor de cotización posible que ofrezca el menor costo pero siempre garantizando la calidad necesaria para la ejecución de la obra.

7 CONCLUSIONES

Analizados los datos del presente caso de estudio y de los resultados obtenidos de las modelaciones, a continuación se plantean las conclusiones que dan respuesta a los objetivos planteados en el presente documento.

Las actividades más sensibles a afectar la duración del caso de estudio son la “Base”, la “Carpeta Asfáltica”, el “Cajeo” y las “Cunetas en concreto” con el rango medio de “99,77”, “74,03”, “42,33” y “27,77” días respectivamente, dicho de otra manera estas son las actividades que tienen la mayor diferencia entre el límite inferior y superior de su tiempo de ejecución y por lo tanto pueden causar un mayor cambio en la duración media del proyecto. Con esto queda claro que en cuanto al tiempo, estas actividades son las más variables y por lo tanto son a las que más se les debe prestar atención en el proceso de ejecución, con el fin de garantizar unos tiempos adecuados.

De la misma manera la “Carpeta Asfáltica”, la “Base” y las “Cunetas en concreto” son las actividades con el mayor índice crítico de 100%, 86% y 73% respectivamente, lo cual indica que estas son las actividades que más permanecen en la ruta crítica dentro de los diversos escenarios planteados en la simulación, lo que corrobora la importancia del seguimiento que se le debe tener a estas actividades.

Por otra parte en cuanto al costo directo, las variables más sensibles fueron las actividades de la “Carpeta Asfáltica”, la “Base” y la “Sub-Base” con un rango medio de \$ 3.256.155.237, \$ 1.825.091.891 y \$ 675.102.565 respectivamente, dicho de otra manera estas son las actividades que tienen la mayor diferencia entre el límite inferior y superior de su costo de ejecución y por lo tanto pueden causar un mayor cambio en el costo directo del proyecto. Con lo cual se puede concluir que estas actividades son las más variables y por lo tanto son a las que más hay que hacerles un seguimiento detallado en el proceso de ejecución con el fin de controlar los posibles sobrecostos.

En cuanto a los efectos de los costos administrativos sobre el costo de la obra, queda claro que se pueden convertir en un rubro importante en el presupuesto dado que en la modelación del costo total, las variables más importantes fueron la “Carpeta Asfáltica”, la “Base”, la “Sub-Base” y el costo administrativo en función de la “Duración del Proyecto” con un rango medio de \$ 3.246.726.957, \$ 1.832.310.786, \$ 654.259.729 y \$ 385.975.960 respectivamente. Es importante aclarar que para el presente caso de estudio se realizó un estimativo del costo administrativo diario, lo cual hace que el impacto de esta variable pueda ser aún mayor si los requerimientos de un proyecto así lo exigen. Adicional a esto usualmente el costo administrativo en los proyectos de infraestructura pública se estiman con un porcentaje del costo directo lo cual no es la mejor manera de

estimar, pues lo observado en el caso del modelo de estudio indica que esta variable de costo depende de la duración.

Por otra parte haciendo un comparativo con los resultados de la media de las modelaciones de costos directos y costos totales, las cuales son de \$ 5.213.042.816 y \$ 5.675.449.753 respectivamente, el impacto de la administración fue de un 8.9% adicional al costo directo.

Establecidos los impactos que pueden generar estas variables en el caso de estudio, es importante establecer cuáles deben ser las posibles contingencias, para ello es necesario establecer cuál es el nivel de riesgo que se quiere asumir a la hora de ejecutar un proyecto de estas características. Partiendo de lo anterior a continuación se establece un nivel de riesgo del 80% de ocurrencia lo que quiere decir que el rango de los resultados esperados deben ser menores o iguales al 80%, de esta manera se puede establecer que para la duración del proyecto el máximo tiempo de ejecución debe ser de 220 días con un costo administrativo asociado de \$ 526.996.250, que comparado con la media de 194 días con un costo administrativo asociado de \$ 464.714.875, permite establecer una contingencia recomendada del 13,4% en duración con relación a la media.

De la misma manera para el costo directo se puede establecer que el costo máximo asociado al nivel de riesgo debe ser de \$ 6.111.745.013 que comparado con la media de \$ 5.213.042.816 constituye una contingencia recomendada del 17,2% en costo directo con relación a la media.

Para el caso del costo total la contingencia se puede establecer de dos maneras, la primera es definiendo de la modelación del costo total un costo máximo asociado al nivel de riesgo de \$ 6.577.027.996 que comparado con la media de \$ 5.675.449.753 constituye una contingencia recomendada del 15,9%; la segunda manera es estableciendo un costo máximo equivalente al máximo costo directo de \$ 6.111.745.013 más la duración máxima de 220 días multiplicada por el costo diario administrativo de \$ 2.395.437 lo que da como resultado un monto de \$ 6.638.741.153 que comparado con la media de la modelación del costo total equivalente a \$ 5.675.449.753 establece una contingencia de 17,0%. Es de aclarar que de la segunda forma se están sobreponiendo de manera simultánea el nivel de riesgo a asumir en duración y costo directo como si ambas circunstancias se presentaran al tiempo.

Para finalizar, en el proceso de obtención de los datos se pudo establecer algunas de las causas que pueden afectar las actividades. En el caso de la duración son las siguientes:

Exógenas

- Lluvias

Endógenas

- daños mecánicos
- Problemas de especificaciones Técnicas
- Falta de personal
- Falta de suministro

Donde la lluvia es la principal causa de pérdida de tiempo en las obras y siendo las actividades más afectadas el “Cajeo”, la “Base”, la “Sub-Base” y la “Carpeta Asfáltica”, dado que su presencia interfiere de manera directa en el proceso de ejecución de estas actividades.

De la misma manera al nivel del costo se puede identificar que el acarreo de materiales en el caso de la “Base”, la “Sub-Base” y la “Carpeta Asfáltica” es la principal causa del incremento de los costos, debido a los costos del transporte de los insumos en función de la distancia; por otra parte en el caso del “Cajeo” el retiro del material al botadero es la principal causa de incremento en el costo, debido a los costos del transporte del material excavado en función de la distancia.

8 RECOMENDACIONES

Para hacer una estimación adecuada de tiempo y costo para un proyecto de estas características, es necesario establecer puntos de comparación con proyectos similares que ya hayan sido ejecutados (Benchmarking). Adicional a esto hay que tener claro cómo será el proceso constructivo, cuáles serán las actividades que están involucradas y cuáles son los agentes externos o internos que pueden afectar el desarrollo de la obra tanto en tiempo como en el costo de ejecución.

Adicionalmente es necesario definir cuales es el nivel de riesgo que uno como contratista o entidad está dispuesto a asumir. De esta manera se puede establecer un modelo estadístico confiable que permita estimar de una manera más acertada la duración y el costo del proyecto.

Cabe resaltar que no siempre los riesgos de una variable terminan afectando de manera negativa el proyecto, es por ello que se hace necesario identificar estas situaciones, pues estas son oportunidades que se presentan en las obras y son importantes propiciarlas con el fin de aumentar la relación costo beneficio.

Siempre es importante asumir una contingencia en cuanto a tiempo y costo que esté asociada a las experiencias pasadas de obras ejecutadas con características similares y al nivel de riesgo que el contratista o entidad está dispuesto a asumir.

Las actividades que son más críticas tanto en tiempo como en costo deben estar bajo un estricto seguimiento con el fin de garantizar el menor costo y el menor tiempo.

Es importante siempre verificar las fechas de temporadas de lluvia con el fin de poder tenerlas en cuenta a la hora de planificar un cronograma de ejecución siempre en busca de reducir el impacto de este fenómeno meteorológico, en especial en los proyectos pequeños pues estos se pueden programar con las temporadas de lluvias. De la misma manera se recomienda siempre verificar el óptimo funcionamiento de los equipos que se utilizaran para la ejecución de las actividades, con el fin garantizar la menor cantidad de fallas al momento de ejecutar la obra.

Por otra parte siempre es necesario antes de iniciar un proyecto identificar cuáles son las rutas más adecuadas para la movilización de los materiales para buscar la disminución del costo. Es por ello que a continuación se hacen las siguientes recomendaciones particulares a ciertas actividades:

- Se recomienda que para la actividad de excavación sea necesario identificar el sitio de disposición final del retiro de tierra para garantizar el menor costo.

- Se recomienda que para las actividades de “Base” y “Sub-Base” es necesario identificar las fuentes de obtención del material con el fin de garantizar la calidad y el menor costo.
- Se recomienda que para la actividad de extendido de concreto asfáltico es necesario identificar las fuentes de obtención con el fin de garantizar la calidad y el menor costo.

Por otra parte, es claro que en el caso de estudio la colocación de la “Base” debido a sus cantidades ocupa gran parte del desarrollo del cronograma y dada su afinidad con las actividades de colocación de “Sub-base” y “Conformación de sub-rasante” debido al mismo uso de equipos, se recomienda plantear un juego de maquinaria que permita mantener una ejecución constante de la actividad más larga que en este caso es la base y un juego de equipo alterno que permita ejecutar de manera intermitente las actividades que requieren menos dedicación que para este caso son la “Sub-base” y la “Conformación de sub-rasante”, con el objetivo de garantizar más espacio de trabajo para la ejecución de la actividad “Base”. Igualmente el juego de equipo alterno debe ser usado de manera complementaria en la actividad de la base, con lo cual se pretende reducir los tiempos de ejecución.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Jajuga, K. (2009). Risk Analysis: A Quantitative Guide, 3rd edition. Journal Of Risk Management In Financial Institutions, 2(3), 326-327.
- Rodrigue, F & Hruskovic, P (2010). Gestión De Riesgos En Proyectos De Construcción. Universidad de Sonora.
- Schatteman, D., Herroelen, W., Van de Vonder, S., & Boone, A. (2008). Methodology for Integrated Risk Management and Proactive Scheduling of Construction Projects. Journal of Construction Engineering and Management-Asce, 134(11), 885-893. doi: 10.1061/(asce)0733-9364(2008)134:11(885)
- Barraza, G. A., & Bueno, R. A. (2007). Probabilistic control of project performance using control limit curves. Journal of Construction Engineering and Management-Asce, 133(12), 957-965. doi: 10.1061/(asce)0733-9364(2007)133:12(957)
- Barraza, G. A., Back, W. E., & Mata, F. (2004). Probabilistic forecasting of project performance using stochastic S curves. Journal of Construction Engineering and Management-Asce, 130(1), 25-32. doi: 10.1016/(asce)0733-9364(2004)130:1(25)
- Lorez, J. (2008). Guía básica para la simulación de Monte Carlo. AENOR. asociación española de normalización y certificación.
- Akintye, A.S. & MacLeod, M.J. (1997). Risk Analysis and Management in Construction. INTERNATIONAL JOURNAL OF PROJECT MANAGEMENT, Vol. 15, No. 1, pp 31-38 Great Britain.
- Christopher, P. & Caddell, P.E. (2009). A Recommended Total Project Cost Risk Model Approach. AACE INTERNATIONAL TRANSACTIONS, RISK No. 6. United States.
- Creedy G.D. (2006). Risk Factors Leading To Cost Overrun in the Delivery of Highway Construction Projects. QUEEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Doctoral Thesis. Australia.
- Azarang, M. & Garcia, E. (1998). Simulación y Análisis de modelos estocásticos. MC. GRAW HILL. Mexico.

- Faulín, J. y Juan, Á. (2005). Simulación De Monte Carlo Con Excel. UOC UNIVERSIDAD ABIERTA DE CATALUÑA. España.
- Daniel B. & Andrew D.F. (2002). Modelling Global Risk Factors Affecting Construction Cost Performance. UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE. Mozambique
- Salinas, M. (2007). Modelos de Regresión y Correlación IV. Correlación de Spearman. FUNDACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA ACHS. Chile
- @risk by Palisade. (2013). Programa De Complemento Para El Análisis y Simulación De Riesgos En Microsoft Excel. Versión 6. Ithaca. NY- United States.
- Goodpasture, J.C. (1999). Adding Probability To Your 'Swiss Army Knife'. Proc., 30th Annual Project Management Institute. SEMINARS AND SYMP. PMI. Philadelphia.
- Hulett, D. T., & Campbell, B., III.(2002). Integrated Cost/Schedule Risk Analysis. 5th European Project Management Conf., PMI Europe, Cannes, France 1–14.
- Kandaswamy, S.(2001). The Basics Of Monte Carlo Simulation: A Tutorial. PROC., PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE ANNUAL SEMINARS AND SYMP. PMI, Nashville, Tenn.
- Osama, A. J. & Salman, A. (2003). Risk Assessment in Construction. Construction Engineering and Management. KING FAHD UNIV. OF PETROLEUM AND MINERALS. Dhahran, Saudi Arabia.
- Kangari, R. (1995). "Risk Management and trends of U.S. Construction" Journal of Constructions Engineering and Management, ASCE, Vol 4 pg. (422-429)
- Tapia, F. (2011). "Estadística Aplicada a las Licenciaturas: Administración, Contaduría e Informática Administrativa" División de Ciencias Exactas y Naturales Departamento de Matemáticas, Universidad de Sonora, Fascículo II, Mexico.

- Fuente: DANE, cifras anuales DNP- Umacro trimestralización.
- Fuente: DANE, cuentas nacionales trimestrales.

Anexo No 1 - Base de datos de rendimientos

Nombre del Proyecto: . Rehabilitacion via - Puente Tierra - Jiguales - Calima - Darien - Madroñan tableros									
ACTIVIDAD	un equipo de trabajo							1735	m2 de via
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Tecnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,00642	19,5	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00550	22,7
Conformacionde subreasante	0,00109	115,1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00109	115,1
Subase	0,01016	12,3	7,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00938	13,3
Base	0,01622	7,7	16,7%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01081	11,6
Imprimacion	0,00058	216,9	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00058	216,9
Carpeta Asfáltica	0,03846	3,3	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%	0,03077	4,1
Cunetas en concreto	0,02749	4,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,02749	4,5
encoles y descoles									
tubería de concreto reforzado de 900 mm									
líneas de demarcacion con pintura en frio									
Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA YUMBO LA CUMBRE									
	un equipo de trabajo							11609	m2 de via
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Tecnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,00535	23,4	10,0%	6,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00445	28,06000
Conformacionde subreasante	0,00103	120,9	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00103	120,92708
Subase									
Base	0,01340	9,3	9,3%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01184	10,55457
Imprimacion									
Carpeta Asfáltica									
Cunetas en concreto	0,03864	3,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,03864	3,23516
encoles y descoles									
tubería de concreto reforzado de 900 mm									
líneas de demarcacion con pintura en frio									
Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA JAMUNDI - RIO CLARO - TIMBA (TRAMO 1)									
	un equipo de trabajo							68130	m2 de via
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Tecnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,01063	11,8	20,7%	1,7%	1,7%	0,0%	0,0%	0,00806	15,5
Conformacionde subreasante	0,00084	149,4	1,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00082	152,1
Subase	0,01302	9,6	15,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01098	11,4
Base	0,00990	12,6	7,4%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00909	13,7
Imprimacion	0,00027	461,9	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00027	461,9
Carpeta Asfáltica	0,01738	7,2	1,7%	9,6%	9,6%	0,9%	17,4%	0,01376	9,1
Cunetas en concreto	0,02085	6,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,02085	6,0
encoles y descoles	0,65359	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,65359	0,2
tubería de concreto reforzado de 900 mm	0,10941	1,1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,10941	1,1
líneas de demarcacion con pintura en frio	0,00045	279,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00045	279,2

	Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA ESTELIA - SEVILLA LA PLAYA								
	un equipo de trabajo							2238,228571	m2 de via
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Técnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,00500	25,0	5,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00470	26,57422
Conformacionde subreasante									
Subase	0,01404	8,9	9,1%	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01149	10,88028
Base	0,01520	8,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01520	8,22554
Imprimacion									
Carpeta Asfaltica									
Cunetas en concreto	0,01714	7,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01714	7,29403
encoles y descoles									
tuberia de concreto reforzado de 900 mm									
lineas de demarcacion con pintura en frio									
	Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA ZARZAL - ROLDANILLO								
	un equipo de trabajo							27908	m2 de via
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Técnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,00356	35,1	21,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00281	44,4
Conformacionde subreasante	0,00075	166,1	0,0%	0,0%	4,8%	0,0%	0,0%	0,00072	174,4
Subase	0,01044	12,0	3,4%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00997	12,5
Base	0,01191	10,5	5,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01132	11,0
Imprimacion	0,00044	282,9	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00044	282,9
Carpeta Asfaltica	0,01671	7,5	9,4%	3,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01462	8,5
Cunetas en concreto	0,04558	2,7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,04558	2,7
encoles y descoles									
tuberia de concreto reforzado de 900 mm									
lineas de demarcacion con pintura en frio	0,00056	222,8	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00049	254,6
	Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA CRUCERO PANCE PUENTE EL HORMIGUERO								
	un equipo de trabajo							37479	m2 de via
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Técnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,00271	46,1	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00232	53,77083
Conformacionde subreasante									
Subase	0,01392	9,0	5,0%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01310	9,54474
Base	0,01398	8,9	5,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01327	9,41833
Imprimacion	0,00053	234,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00053	234,24375
Carpeta Asfaltica	0,01349	9,3	5,8%	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01245	10,04342
Cunetas en concreto									
encoles y descoles									
tuberia de concreto reforzado de 900 mm									
lineas de demarcacion con pintura en frio	0,00047	263,7	22,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00037	339,07143

	Nombre del Proyecto: Rehabilitación de la Vía Jamundi-Río Claro-Timba (Tramo II)									
	un equipo de trabajo							164826,55	m2 de via	
	Tiempo (días) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto		
			lluvias	daños mecánicos	especific. Técnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (días)/unida	unida/ Tiempo (horas)	
Cajeo	0,00328	38,1	11,4%	2,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00281	44,46458	
Conformacionde subreasante	0,00073	170,7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00073	170,65389	
Subase	0,01096	11,4	2,6%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01063	11,75818	
Base	0,01105	11,3	3,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01069	11,69766	
Imprimacion	0,00056	223,9	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00055	228,92576	
Carpeta Asfáltica	0,01430	8,7	5,2%	2,6%	1,0%	0,0%	7,8%	0,01304	9,58929	
Cunetas en concreto	0,01482	8,4	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01458	8,57264	
encoles y descoles	0,43210	0,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,43210	0,28929	
tubería de concreto reforzado de 900 mm	0,11397	1,1	3,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,11029	1,13333	
líneas de demarcación con pintura en frío	0,00040	315,1	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00036	350,14583	
	Nombre del Proyecto: mejoramiento de vías en el sector urbano del municipio de santiago de cali "calle 10 entre carreras 23 y 32, comuna 19 grupo 1"									
	un equipo de trabajo							7488,27	m2 de via	
	Tiempo (días) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto		
			lluvias	daños mecánicos	especific. Técnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (días)/unida	unida/ Tiempo (horas)	
Cajeo	0,00288	43,3	12,5%	6,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00234	53,3	
Conformacionde subreasante	0,00067	187,2	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00053	234,0	
Subase	0,00961	13,0	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00854	14,6	
Base										
Imprimacion	0,00053	234,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00053	234,0	
Carpeta Asfáltica	0,01335	9,4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01335	9,4	
Cunetas en concreto										
encoles y descoles										
tubería de concreto reforzado de 900 mm										
líneas de demarcación con pintura en frío										
	Nombre del Proyecto: mejoramiento de la vía entre los municipios de patia y el tambo; primera etapa: pavimentación del sector: Estanquillo - La fonda									
	un equipo de trabajo							10650	m2 de via	
	Tiempo (días) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto		
			lluvias	daños mecánicos	especific. Técnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (días)/unida	unida/ Tiempo (horas)	
Cajeo	0,00287	43,6	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00251	49,81607	
Conformacionde subreasante	0,00094	133,1	20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00075	166,40625	
Subase	0,01148	10,9	6,8%	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	0,01043	11,98031	
Base										
Imprimacion	0,00043	291,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00043	291,50000	
Carpeta Asfáltica	0,01507	8,3	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01357	9,21389	
Cunetas en concreto	0,04333	2,9	7,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,04000	3,12500	
encoles y descoles	0,30627	0,4	7,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,28490	0,43875	
tubería de concreto reforzado de 900 mm	0,13750	0,9	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,12500	1,00000	
líneas de demarcación con pintura en frío	0,00070	179,4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00070	179,37500	

	Nombre del Proyecto: rehabilitacion y mantenimiento de pavimento k0+000 al k13+000, cruce de guali								
	un equipo de trabajo							14695,4	m2 de via
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Tecnicas	falta de personal	falta de suminstro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,00248	50,4	10,5%	5,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00209	59,8
Conformacionde subreasante	0,00061	204,1	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00054	229,6
Subase	0,01210	10,3	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01089	11,5
Base	0,01100	11,4	2,9%	5,9%	0,0%	2,9%	0,0%	0,01003	12,5
Imprimacion	0,00048	262,4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00048	262,4
Carpeta Asfaltica	0,01621	7,7	6,3%	0,0%	0,0%	0,0%	6,3%	0,01520	8,2
Cunetas en concreto	0,02404	5,2	10,5%	0,0%	0,0%	10,5%	0,0%	0,02151	5,8
encoles y descoles	0,61350	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,61350	0,2
tuberia de concreto reforzado de 900 mm									
lineas de demarcacion con pintura en frio	0,00040	315,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00040	315,3
	Nombre del Proyecto: REHABILITACION ANTIGUA VIA CALI YUMBO SEGUNDO TRAMO								
	un equipo de trabajo							10215,06	m2 de via
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Tecnicas	falta de personal	falta de suminstro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,00430	29,1	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00368	33,9
Conformacionde subreasante									
Subase	0,01874	6,7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01874	6,7
Base	0,01184	10,6	5,9%	0,0%	0,0%	5,9%	0,0%	0,01115	11,2
Imprimacion	0,00049	255,4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00049	255,4
Carpeta Asfaltica	0,01651	7,6	6,5%	3,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01491	8,4
Cunetas en concreto	0,02927	4,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,02927	4,3
encoles y descoles	0,42373	0,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,42373	0,3
tuberia de concreto reforzado de 900 mm									
lineas de demarcacion con pintura en frio	0,00044	281,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00044	281,3
	Nombre del Proyecto: MEJORAMIENTO DE LA VIA CANDELARIA - FLORIDA, PRADERA PALMIRA								
	un equipo de trabajo							7607	m2 de via
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Tecnicas	falta de personal	falta de suminstro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,00566	22,1	6,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00530	23,56833
Conformacionde subreasante									
Subase	0,00886	14,1	4,8%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00802	15,58487
Base	0,00919	13,6	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00919	13,59519
Imprimacion	0,00053	237,7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00053	237,71875
Carpeta Asfaltica	0,01878	6,7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,1%	0,01878	6,65625
Cunetas en concreto									
encoles y descoles									
tuberia de concreto reforzado de 900 mm									
lineas de demarcacion con pintura en frio	0,00067	187,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00067	187,50000

	Nombre del Proyecto: MEJORAMIENTO DE LA VIA CANDELARIA - FLORIDA, PRADERA PALMIRA								
	un equipo de trabajo						8541	m2 de via	
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Técnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,01435	8,7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01435	8,7
Conformacionde subreasante	0,00105	118,6	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00105	118,6
Subase	0,01115	11,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01115	11,2
Base	0,00922	13,6	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00922	13,6
Imprimacion	0,00050	251,1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00050	251,1
Carpeta Asfáltica	0,02489	5,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,02489	5,0
Cunetas en concreto	0,06831	1,8	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,06831	1,8
encoles y descoles									
tuberia de concreto reforzado de 900 mm									
lineas de demarcacion con pintura en frio	0,00057	219,4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00057	219,4
	Nombre del Proyecto: Mejoramiento y rehabilitacion de la via santiago de cali crr 122 a la voragine.								
	un equipo de trabajo						14343,16	m2 de via	
	Tiempo (dias) / unida	unidad/ Tiempo (horas)	impacto de tiempo					sin impacto	
			lluvias	daños mecanicos	especif. Técnicas	falta de personal	falta de suministro	Tiempo (dias)/unida	unida/ Tiempo (horas)
Cajeo	0,00492	25,4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00492	25,42188
Conformacionde subreasante									
Subase									
Base	0,01118	11,2	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01017	12,29525
Imprimacion	0,00070	179,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00070	179,28950
Carpeta Asfáltica	0,01515	8,3	5,0%	5,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,01363	9,16944
Cunetas en concreto	0,03000	4,2	10,0%	0,0%	0,0%	6,7%	0,0%	0,02700	4,62963
encoles y descoles	0,80000	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,80000	0,15625
tuberia de concreto reforzado de 900 mm									
lineas de demarcacion con pintura en frio	0,08333	1,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,08333	1,50000

Anexo No 2 - Base de datos de costos unitarios

	Nombre del Proyecto: . Rehabilitacion via - Puente Tierra - Jiguales - Calima - Darien - Madroñan tableros				
	un equipo de trabajo				
	2012	2013			
	Costo unitario mas retiro	tiempo actual	impacto en el costo		
ACTIVIDAD			Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 24.501,04	\$ 25.314,47	1,76%	84,12%	16 km
Conformacion de sub-rasante	\$ 2.560,00	\$ 2.644,99	0,00%	0,00%	
Sub-base	\$ 179.557,02	\$ 185.518,31	0,82%	60,72%	90 km
Base	\$ 181.145,95	\$ 187.159,99	1,40%	60,18%	90 km
Imprimacion	\$ 1.440,00	\$ 1.487,81	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 479.348,43	\$ 495.262,80	1,50%	21,95%	90 km
Cunetas en concreto	\$ 35.370,00	\$ 36.544,28	0,00%	0,00%	
encoles y descoles					
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio					
	Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA YUMBO LA CUMBRE				
	un equipo de trabajo				
	2012	2013			
	Costo unitario mas retiro	tiempo actual	impacto en el costo (estimado)		
			Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 19.102,66	\$ 19.736,87	0,00%	86,27%	14km
Conformacion de sub-rasante	\$ 1.949,81	\$ 2.014,54	0,00%	0,00%	
Sub-base					
Base	\$ 87.148,29	\$ 90.041,61	0,00%	35,43%	27 km
Imprimacion					
Carpeta Asfaltica					
Cunetas en concreto	\$ 36.407,60	\$ 37.616,34	0,00%	0,00%	
encoles y descoles					
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio					

	Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA JAMUNDI - RIO CLARO - TIMBA (TRAMO 1)				
	un equipo de trabajo				
	2012	2013			
	Costo	tiempo actual	impacto en el costo		
	unitario mas retiro		Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 18.388,39	\$ 18.998,89	0,53%	69,99%	10,6km
Conformacion de sub-rasante	\$ 1.661,69	\$ 1.716,86	0,00%	0,00%	
Sub-base	\$ 87.870,15	\$ 90.787,44	0,25%	39,47%	28km
Base	\$ 92.251,02	\$ 95.313,76	0,09%	37,60%	28km
Imprimacion	\$ 1.440,00	\$ 1.487,81	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 413.054,76	\$ 426.768,18	0,04%	11,72%	40km
Cunetas en concreto	\$ 34.822,48	\$ 35.978,59	0,00%	0,00%	
encoles y descoles	\$ 618.256,00	\$ 638.782,10	0,00%	0,00%	
tuberia de concreto reforzado de 900 mm	\$ 361.700,71	\$ 373.709,17	0,00%	0,00%	
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 1.780,00	\$ 1.839,10	0,00%	0,00%	
	Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA ESTELIA - SEVILLA LA PLAYA				
	un equipo de trabajo				
	2012	2013			
	Costo	tiempo actual	impacto en el costo (estimado)		
	unitario mas retiro		Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 13.460,00	\$ 13.906,87	0,00%	56,98%	6,5km
Conformacion de sub-rasante					
Sub-base	\$ 124.070,00	\$ 128.189,12	0,00%	57,06%	60km
Base	\$ 128.590,00	\$ 132.859,19	0,00%	55,06%	60km
Imprimacion	\$ 1.420,00	\$ 1.467,14	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 453.990,00	\$ 469.062,47	0,00%	15,60%	
Cunetas en concreto	\$ 40.873,12	\$ 42.230,11	0,00%	0,00%	
encoles y descoles	\$ 394.884,00	\$ 407.994,15	0,00%	0,00%	
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio					

	Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA ZARZAL - ROLDANILLO				
	un equipo de trabajo				
	2012	2013			
	Costo		impacto en el costo		
	unitario mas retiro	tiempo actual	Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 17.447,71	\$ 18.026,97	1,71%	69,30%	10km
Conformacion de sub-rasante	\$ 1.950,00	\$ 2.014,74	0,00%	0,00%	
Sub-base	\$ 165.342,10	\$ 170.831,46	0,45%	63,18%	86km
Base	\$ 167.635,35	\$ 173.200,85	0,45%	62,32%	86km
Imprimacion	\$ 1.439,54	\$ 1.487,34	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 532.150,08	\$ 549.817,46	0,31%	27,62%	125km
Cunetas en concreto	\$ 36.015,03	\$ 37.210,73	0,00%	0,00%	
encoles y descoles	\$ 450.187,83	\$ 465.134,07	0,00%	0,00%	
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 1.780,23	\$ 1.839,33	0,00%	0,00%	
	Nombre del Proyecto: REHABILITACION DE LA VIA CRUCERO PANCE PUENTE EL HORMIGUERO				
	un equipo de trabajo				
	2013	2013			
	Costo		impacto en el costo (estimado)		
	unitario mas retiro	tiempo actual	Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 6.892,78	\$ 6.892,78	0,00%	55,24%	3km
Conformacion de sub-rasante					
Sub-base	\$ 69.589,35	\$ 69.589,35	0,00%	20,06%	11km
Base	\$ 74.336,12	\$ 74.336,12	0,00%	18,78%	11km
Imprimacion	\$ 1.504,94	\$ 1.504,94	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 548.137,24	\$ 548.137,24	0,00%	2,91%	13km
Cunetas en concreto	\$ 37.980,23	\$ 37.980,23	0,00%	0,00%	
encoles y descoles	\$ 480.314,00	\$ 480.314,00	0,00%	0,00%	
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 2.453,00	\$ 2.453,00	0,00%	0,00%	

	Nombre del Proyecto: Rehabilitación de la Vía Jamundí-Río Claro-Timba (Tramo II)				
	un equipo de trabajo				
	2013	2013			
	Costo	tiempo actual	impacto en el costo (estimado)		
	unitario mas retiro		Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 8.697,78	\$ 8.697,78	0,12%	23,65%	1,7km
Conformacion de sub-rasante	\$ 1.949,00	\$ 1.949,00	0,00%	0,00%	
Sub-base	\$ 79.598,89	\$ 79.598,89	0,01%	33,44%	22km
Base	\$ 84.130,36	\$ 84.130,36	0,02%	31,64%	22km
Imprimacion	\$ 1.440,00	\$ 1.440,00	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 413.734,26	\$ 413.734,26	0,01%	11,31%	40km
Cunetas en concreto	\$ 34.822,48	\$ 34.822,48	0,00%	0,00%	
encoles y descoles	\$ 639.511,00	\$ 639.511,00	0,00%	0,00%	
tuberia de concreto reforzado de 900 mm	\$ 325.582,00	\$ 325.582,00	0,00%	0,00%	
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 1.780,00	\$ 1.780,00	0,00%	0,00%	
	Nombre del Proyecto: mejoramiento de vias en el sector urbano del municipio de santiago de cali "calle 10 entre carreras 23 y 32, comuna 19 grupo 1"				
	un equipo de trabajo				
	2007	2013			
	Costo	tiempo actual	impacto en el costo		
	unitario mas retiro		Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 18.658,56	\$ 23.337,34	0,00%	83,14%	17km
Conformacion de sub-rasante	\$ 1.883,65	\$ 2.355,99	0,00%	0,00%	
Sub-base	\$ 72.581,75	\$ 90.782,23	0,00%	31,43%	20km
Base	\$ 73.930,04	\$ 92.468,61	0,00%	30,86%	20km
Imprimacion	\$ 2.261,60	\$ 2.828,71	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 568.365,02	\$ 710.887,30	0,00%	4,01%	20km
Cunetas en concreto					
encoles y descoles					
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio					

	Nombre del Proyecto: mejoramiento de la via entre los municipios de patia y el tambo; primera etapa: pavimentacion del sector: Estanquillo - La fonda				
	un equipo de trabajo				
	2011	2013			
	Costo	tiempo actual	impacto en el costo (estimado)		
	unitario mas retiro		Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 6.249,00	\$ 6.972,98	0,00%	0,00%	
Conformacion de sub-rasante	\$ 391,00	\$ 436,30	0,00%	0,00%	
Sub-base	\$ 89.058,00	\$ 99.375,90	0,00%	0,00%	
Base	\$ 93.155,00	\$ 103.947,57	0,00%	0,00%	
Imprimacion	\$ 1.158,00	\$ 1.292,16	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 512.534,00	\$ 571.914,14	0,00%	0,00%	
Cunetas en concreto	\$ 27.970,96	\$ 31.211,56	0,00%	0,00%	
encoles y descoles	\$ 384.116,00	\$ 428.618,14	0,00%	0,00%	
tuberia de concreto reforzado de 900 mm	\$ 322.779,80	\$ 360.175,78	0,00%	0,00%	
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 937,00	\$ 1.045,56	0,00%	0,00%	
	Nombre del Proyecto: rehabilitacion y mantenimiento de pavimento k0+000 al k13+000, cruce de guali				
	un equipo de trabajo				
	2011	2013			
	Costo	tiempo actual	impacto en el costo		
	unitario mas retiro		Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 15.757,00	\$ 17.582,54	0,00%	71,08%	14km
Conformacion de sub-rasante	\$ 662,00	\$ 738,70	0,00%	0,00%	
Sub-base	\$ 62.777,00	\$ 70.050,09	0,00%	25,49%	20km
Base	\$ 80.327,00	\$ 89.633,36	0,00%	19,92%	20km
Imprimacion	\$ 1.293,00	\$ 1.442,80	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 398.832,00	\$ 445.039,08	0,00%	4,51%	20km
Cunetas en concreto	\$ 39.023,84	\$ 43.544,99	0,00%	0,00%	
encoles y descoles	\$ 586.750,00	\$ 654.728,51	0,00%	0,00%	
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 1.100,00	\$ 1.227,44	0,00%	0,00%	

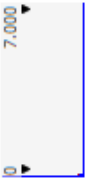


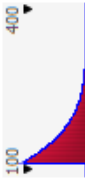
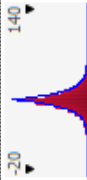
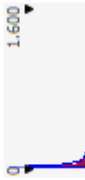
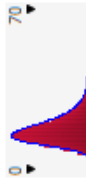

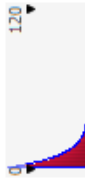
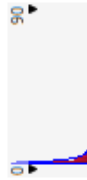
	Nombre del Proyecto: REHABILITACION ANTIGUA VIA CALI YUMBO SEGUNDO TRAMO				
	un equipo de trabajo				
	2006	2013			
	Costo	tiempo actual	impacto en el costo		
	unitario mas retiro		Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 7.600,00	\$ 10.403,11	0,00%	0,00%	
Conformacion de sub-rasante					
Sub-base	\$ 27.936,00	\$ 38.239,63	0,00%	0,00%	
Base	\$ 32.500,00	\$ 44.486,97	0,00%	0,00%	
Imprimacion	\$ 1.380,00	\$ 1.888,99	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 130.320,00	\$ 178.385,92	0,00%	0,00%	
Cunetas en concreto	\$ 28.189,50	\$ 38.586,63	0,00%	0,00%	
encoles y descoles	\$ 429.868,98	\$ 588.417,54	0,00%	0,00%	
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 1.250,00	\$ 1.711,04	0,00%	0,00%	
	Nombre del Proyecto: MEJORAMIENTO DE LA VIA CANDELARIA - FLORIDA, PRADERA PALMIRA				
	un equipo de trabajo				
	2006	2013			
	Costo	tiempo actual	impacto en el costo (estimado)		
	unitario mas retiro		Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 4.850,00	\$ 6.638,83	0,00%	0,00%	
Conformacion de sub-rasante					
Sub-base	\$ 58.694,60	\$ 80.342,93	0,00%	7,67%	7,5km
Base	\$ 64.994,70	\$ 88.966,69	0,00%	6,92%	7,5km
Imprimacion	\$ 1.909,00	\$ 2.613,10	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 225.016,20	\$ 308.008,92	0,00%	0,00%	
Cunetas en concreto	\$ 21.909,68	\$ 29.990,63	0,00%	0,00%	
encoles y descoles					
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 1.224,00	\$ 1.675,45	0,00%	0,00%	

	Nombre del Proyecto: MEJORAMIENTO DE LA VIA CANDELARIA - FLORIDA, PRADERA PALMIRA				
	un equipo de trabajo				
	2007	2013			
	Costo		impacto en el costo		
	unitario mas retiro	tiempo actual	Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 15.680,61	\$ 19.612,65	0,00%	74,20%	10km
Conformacion de sub-rasante	\$ 844,11	\$ 1.055,77	0,00%	0,00%	
Sub-base	\$ 49.482,89	\$ 61.891,14	0,00%	0,00%	
Base	\$ 55.019,01	\$ 68.815,49	0,00%	0,00%	
Imprimacion	\$ 2.030,42	\$ 2.539,56	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 218.752,85	\$ 273.606,96	0,00%	0,00%	
Cunetas en concreto	\$ 21.368,82	\$ 26.727,23	0,00%	0,00%	
encoles y descoles					
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 2.030,00	\$ 2.539,04	0,00%	0,00%	
	Nombre del Proyecto: Mejoramiento y rehabilitacion de la via santiago de cali crr 122 a la voragine.				
	un equipo de trabajo				
	2007	2013			
	Costo		impacto en el costo (estimado)		
	unitario mas retiro	tiempo actual	Trasporte equipo	Retiro de material o acarreo	
Cajeo	\$ 6.524,12	\$ 8.160,10	0,00%	57,32%	5,2km
Conformacion de sub-rasante					
Sub-base					
Base	\$ 85.182,70	\$ 106.542,97	0,00%	25,96%	27km
Imprimacion	\$ 2.448,10	\$ 3.061,98	0,00%	0,00%	
Carpeta Asfaltica	\$ 303.523,90	\$ 379.635,06	0,00%	6,96%	27km
Cunetas en concreto	\$ 28.275,00	\$ 35.365,19	0,00%	0,00%	
encoles y descoles	\$ 233.830,30	\$ 292.465,20	0,00%	0,00%	
tuberia de concreto reforzado de 900 mm					
lineas de demarcacion con pintura en frio	\$ 1.583,50	\$ 1.980,58	0,00%	0,00%	

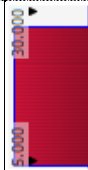
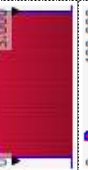
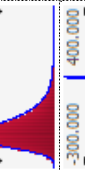
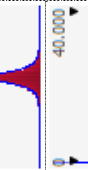
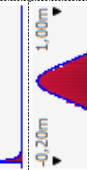
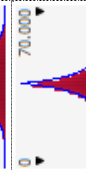
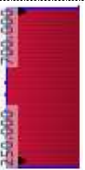
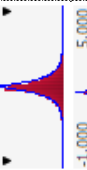


Anexo No 3 – Costos administrativos.

2.1. HONORARIOS			Tarifa por mes	Cant.	TOTAL	
Ensayos de laboratorio			4.000.000,00	1,00	4.000.000,00	
Comisión de topografía 1			7.000.000,00	1,00	7.000.000,00	
SUBTOTAL COSTOS POR HONORARIOS					11.000.000,00	
2.2. ARRENDAMIENTOS			Tarifa por mes	Cant.	TOTAL	
Alquiler Equipo de computación			250.000,00	4,00	1.000.000,00	
Alquiler Contenedores			1.400.000,00	2,00	2.800.000,00	
Vehículo Ingenieros			1.500.000,00	1,00	1.500.000,00	
Servicios Públicos			800.000,00	1,00	800.000,00	
Alquiler Baños			400.000,00	2,00	800.000,00	
SUBTOTAL COSTOS POR ARRENDAMIENTOS					6.900.000,00	
2.3. SERVICIOS			Tarifa por mes	Cant.	TOTAL	
Aseo y Vigilancia			3.000.000,00	2,00	6.000.000,00	
Transporte de Personal			5.000.000,00	1,00	5.000.000,00	
Transporte de Equipo de Obra (Movilización)			1.500.000,00	1,00	1.500.000,00	
Transporte de Equipo de Obra (desmovilización)			1.500.000,00	1,00	1.500.000,00	
SUBTOTAL COSTOS POR SERVICIOS					14.000.000,00	
2.7. DIVERSOS			Tarifa por mes	Cant.	TOTAL	
Elementos de aseo y cafetería			100.000,00	1,00	100.000,00	
Útiles, papelería, fotocopias			500.000,00	1,00	500.000,00	
Indemnización por daños a terceros			1.000.000,00	1,00	1.000.000,00	
Señales viales y barricadas			1.000.000,00	1,00	1.000.000,00	
SUBTOTAL COSTOS POR GASTOS DIVERSOS					2.600.000,00	
1. COSTO DE PERSONAL	Factor segur. Social	# DE SMMLV	Sueldo Mes / Individual	Cant.	Dedic.	Total Básico
Cargo						
Director proyecto	0,56	9,0	8.276.580,00	1,0	0,5	4.138.290,00
Residente de obra	0,56	4,0	3.678.480,00	1,0	1,0	3.678.480,00
Profesional SISO	0,56	3,0	2.758.860,00	1,0	0,3	827.658,00
Inspector SISO	0,56	1,5	1.379.430,00	1,0	1,0	1.379.430,00
Ingeniero Ambiental	0,56	3,0	2.758.860,00	1,0	0,3	827.658,00
Ingeniero de Calidad	0,56	3,0	2.758.860,00	1,0	0,3	827.658,00
Jefe Administrativa	0,56	2,0	1.839.240,00	1,0	0,1	183.924,00
Secretaria	0,56	1,0	919.620,00	1,0	0,1	91.962,00
Contador	0,56	2,0	1.839.240,00	1,0	0,1	183.924,00
Auxiliar Contable	0,56	1,5	1.379.430,00	1,0	1,0	1.379.430,00
Maestro de obra	0,56	1,8	1.655.316,00	1,0	1,0	1.655.316,00
Controlador de Trafico	0,56	1,0	919.620,00	4,0	1,0	3.678.480,00
Almacenista	0,56	1,5	1.379.430,00	1,0	1,0	1.379.430,00
Ayudante de almacén	0,56	1,0	919.620,00	1,0	1,0	919.620,00
Oficios Varios	0,56	1,0	919.620,00	2,0	1,0	1.839.240,00
\$ 589.500,00		SMMLV	SUBTOTAL COSTOS POR PERSONAL			22.990.500,00
COSTOS ADMINISTRATIVOS MENSUAL					57.490.500,00	
COSTOS ADMINISTRATIVOS DIARIO					2.395.437,50	





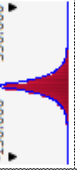
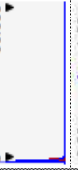

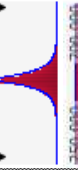

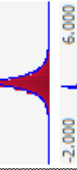
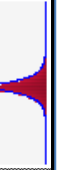
Anexo No 4 – Resultados de la modelación en los datos de entrada del cronograma

Resultados de entradas de @RISK Ejecutado por: Hernan Fecha: sábado, 16 de noviembre de 2013 11:59:30 a.m.										
Nombre	Celda	Gráfico	Min	Media	Máx	5%	95%	Errores		
Cajeo	D4		13,5442 días	35,31422 días	6119,564 días	13,98317 días	87,33595 días	0		
Conformacionde subreasante	D5		38,13853 días	57,86999 días	77,60126 días	40,11097 días	75,62672 días	0		
Sub-base	D6		43,47278 días	58,79087 días	114,86 días	44,73246 días	82,67508 días	0		
Base	D7		120,9109 días	162,1906 días	347,1513 días	123,4369 días	232,5161 días	0		
Imprimacion	D8		-17,3789 días	51,06313 días	120,7992 días	35,34881 días	66,76774 días	0		
Carpeta Asfaltica	D9		88,33858 días	121,0233 días	1442,255 días	89,57045 días	198,3731 días	0		
tubería de concreto reforzado de 900 mm	D11		6,484912 días	18,98585 días	61,47792 días	11,73375 días	29,34516 días	0		
encoles y descoles	D12		2,953599 días	6,539439 días	15,76494 días	3,854263 días	9,976455 días	0		
Cunetas en concreto	D13		6,329446 días	14,8976 días	107,9765 días	6,768079 días	31,99521 días	0		
lineas de demaracion con pintura en frio	D14		7,082393 días	9,38612 días	83,84503 días	7,172033 días	14,77579 días	0		

Anexo No 5 – Resultados de la modelación en los datos de entrada del costo directo

Resultados de entradas de @RISK								
Ejecutado por: Hernan								
Fecha: miércoles, 16 de octubre de 2013 07:08:02 p.m.								
Nombre	Celda	Gráfico	Mín	Media	Máx	5%	95%	Errores
Cajeo 2	D4		\$ 5.203,58	\$ 15.976,60	\$ 26.749,22	\$ 6.277,95	\$ 25.672,08	0
Conformacionde subbaseante 2	D5		\$ 190,93	\$ 1.540,64	\$ 2.890,21	\$ 325,79	\$ 2.755,38	0
Subase 2	D6		\$ 4.523,93	\$ 96.280,38	\$ 372.481,80	\$ 44.266,19	\$ 170.586,90	0
Base 2	D7		\$ (209.966,40)	\$ 91.247,26	\$ 307.601,70	\$ 33.462,36	\$ 148.968,00	0
Imprimacion 2	D8		\$ 1.292,22	\$ 1.936,19	\$ 37.034,04	\$ 1.314,44	\$ 3.500,35	0
Carpeta Asfaltica 2	D9		\$ (84.676,90)	\$ 443.867,80	\$ 988.242,60	\$ 212.911,30	\$ 674.580,20	0
Cunetas en concreto 2	D10		\$ 8.110,77	\$ 36.544,62	\$ 68.329,70	\$ 28.913,78	\$ 44.168,79	0
encoles y descoles 2	D11		\$ 252.250,70	\$ 473.596,00	\$ 694.967,20	\$ 274.329,20	\$ 672.798,30	0
Tuberia de concreto reforzado de 900 mm 2	D12		\$ 299.536,80	\$ 360.362,40	\$ 428.089,40	\$ 343.932,60	\$ 376.780,80	0
Lineas de demarcacion con pintura en frio 2	D13		\$ (945,12)	\$ 1.809,56	\$ 4.680,63	\$ 1.069,77	\$ 2.548,81	0

Anexo No 6 – Resultados de la modelación en los datos de entrada del costo directo

Resultados de entradas de @RISK Ejecutado por: Hernan Fecha: sábado, 16 de noviembre de 2013 05:40:48 p.m.									
Nombre	Celda	Gráfico	Mín	Media	Máx	5%	95%	Errores	
Duracion	C17		129,551	192,7843	854,7673	142,2108	292,5301	0	
Cajero 2	D4		\$ 5.202,35	\$ 15.976,60	\$ 26.750,76	\$ 6.277,53	\$ 25.672,92	0	
Conformacionde subreasante 2	D5		\$ 191,14	\$ 1.540,65	\$ 2.890,28	\$ 325,71	\$ 2.755,28	0	
Subase 2	D6		\$ 9.000,19	\$ 96.279,76	\$ 364.683,60	\$ 44.252,79	\$ 170.585,10	0	
Base 2	D7		\$ (141.082,00)	\$ 91.257,49	\$ 323.022,00	\$ 33.489,54	\$ 148.961,40	0	
Imprimacion 2	D8		\$ 1.292,21	\$ 1.941,07	\$ 83.664,56	\$ 1.314,42	\$ 3.501,68	0	
Carpeta Asfaltica 2	D9		\$ (84.518,20)	\$ 443.865,00	\$ 972.689,80	\$ 212.982,00	\$ 674.638,60	0	
Cunetas en concreto 2	D10		\$ 7.900,52	\$ 36.544,29	\$ 65.693,27	\$ 28.913,65	\$ 44.168,07	0	
encoles y descoles 2	D11		\$ 252.233,40	\$ 473.595,80	\$ 694.975,90	\$ 274.347,30	\$ 672.823,20	0	
Tuberia de concreto reforzado de 900 mm 2	D12		\$ 297.553,30	\$ 360.361,40	\$ 422.079,10	\$ 343.934,70	\$ 376.771,90	0	
Lineas de demaracion con pintura en frio 2	D13		\$ (1.736,45)	\$ 1.809,53	\$ 5.212,93	\$ 1.070,05	\$ 2.548,69	0	

Anexo No 7 - Detalles estadísticos de la modelación del cronograma

Estadísticos detallados @RISK											
Ejecutado por: Hernan											
Fecha: sábado, 16 de noviembre de 2013 11:59:32 a.m.											
Nombre	PROYECTO TIMBA	Cajeo	Conformación de subrasante	Sub-base	Base	Imprimación	Carpetas Asfálticas	tubería de concreto reforzado de 900 mm	encoles y descoles	Cunetas en concreto	líneas de demarcación con pintura en frío
Descripción	Salida	RiskPareto(1,6073; 3,544;RiskName("Cajeo"))	RiskUniform(38,138; 77,602;RiskName("Conformación de subrasante"))	RiskPareto(43,47;46,114;124,82;RiskName("Sub-base"))	RiskPareto(120,91;120,91;358,59;RiskName("Base"))	RiskLaplace(51,0631; 9,646;RiskName("Imprimación"))	RiskPareto(3,702;88,338;RiskName("Carpetas Asfálticas"))	RiskExValue(16,486; 5,4;3,302;RiskName("tubería de concreto reforzado de 900 mm"))	RiskRayleigh(2,8777; RiskShift(6,329);RiskName("encoles y descoles"))	RiskExpon(8,5679;RiskShift(2,9328);RiskName("Cunetas en concreto"))	RiskPareto(4,0722;7,0823;RiskName("líneas de demarcación con pintura en frío"))
Celda	TareasID2	TareasID4	TareasID5	TareasID6	TareasID7	TareasID8	TareasID9	TareasID11	TareasID12	TareasID13	TareasID14
Mínimo	132,1 días	13,5442 días	38,13853 días	43,47278 días	120,9109 días	-17,3789 días	88,33858 días	6,494912 días	2,953599 días	6,329446 días	7,082393 días
Máximo	6132,969 días	6119,564 días	77,60126 días	114,86 días	347,1513 días	120,7992 días	1442,255 días	61,47792 días	15,76494 días	107,9765 días	83,84503 días
Media	193,918 días	35,31422 días	57,86999 días	58,79087 días	162,1906 días	51,06313 días	121,0233 días	18,98585 días	6,539439 días	14,8976 días	9,38612 días
Desviación est	92,63765 días	91,18964 días	11,39267 días	12,02137 días	34,89216 días	9,648265 días	47,65603 días	5,552853 días	1,88523 días	8,575024 días	3,185802 días
Varianza	8581,734	8315,55	129,7929	144,5134	1217,463	93,08902	2271,097	30,83418	3,554092	73,53102	10,14933
Asimetría	28,99919	33,69527	2,02301E-06	1,054107	1,184366	0,001493506	6,177168	1,136079	0,630329	2,018799	5,060365
Curtosis	1470,99	1759,121	1,800001	3,813161	4,208982	6,013319	89,64735	5,356444	3,239332	9,283829	56,76319
Errores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moda	187,15 días	13,58637 días	46,22819 días	46,42065 días	121,1583 días	51,13178 días	88,45773 días	16,68808 días	5,865221 días	6,372005 días	7,091032 días
5% porc	141,5688 días	13,98317 días	40,11097 días	44,73246 días	123,4369 días	35,34881 días	89,57045 días	11,73375 días	3,854263 días	6,768079 días	7,172033 días
10% porc	146,0896 días	14,46142 días	42,08346 días	45,86114 días	126,0718 días	40,08447 días	90,88793 días	12,8744 días	4,253471 días	7,231578 días	7,267919 días
15% porc	150,4083 días	14,98491 días	44,05645 días	46,98078 días	128,8283 días	42,84818 días	92,30125 días	13,71312 días	4,573224 días	7,720913 días	7,370644 días
20% porc	154,3 días	15,56102 días	46,02879 días	48,11518 días	131,718 días	44,81204 días	93,82481 días	14,42513 días	4,855193 días	8,240166 días	7,481157 días
25% porc	158,1083 días	16,19784 días	48,00358 días	49,27856 días	134,7555 días	46,33449 días	95,47481 días	15,07128 días	5,115373 días	8,793596 días	7,606634 días
30% porc	162,4292 días	16,90902 días	49,97556 días	50,48386 días	137,959 días	47,57866 días	97,27013 días	15,68207 días	5,363035 días	9,384827 días	7,730419 días
35% porc	166,7188 días	17,70638 días	51,9497 días	51,7384 días	141,3531 días	48,6303 días	99,23843 días	16,2757 días	5,603771 días	10,01938 días	7,872381 días
40% porc	170,6187 días	18,61013 días	53,92296 días	53,05373 días	144,9635 días	49,54016 días	101,406 días	16,86478 días	5,841424 días	10,70555 días	8,028656 días
45% porc	175,0583 días	19,6455 días	55,89524 días	54,44556 días	148,8198 días	50,34351 días	103,818 días	17,46046 días	6,079465 días	11,45021 días	8,202237 días
50% porc	180,05 días	20,84538 días	57,86801 días	55,92365 días	152,9705 días	51,06299 días	106,5242 días	18,07301 días	6,320931 días	12,26697 días	8,39621 días
55% porc	185,1 días	22,25702 días	59,84277 días	57,50948 días	157,4635 días	51,7813 días	109,6023 días	18,71354 días	6,569388 días	13,16969 días	8,616453 días
60% porc	190,5792 días	23,95056 días	61,81522 días	59,22818 días	162,3795 días	52,58444 días	113,1439 días	19,39463 días	6,828087 días	14,17832 días	8,869309 días
65% porc	196,7083 días	26,02589 días	63,78856 días	61,11015 días	167,8171 días	53,49469 días	117,2966 días	20,13285 días	7,102415 días	15,32334 días	9,16499 días
70% porc	203,3188 días	28,64667 días	65,76102 días	63,20254 días	173,9084 días	54,54609 días	122,2844 días	20,95052 días	7,3979 días	16,64295 días	9,518262 días
75% porc	210,95 días	32,08182 días	67,73598 días	65,57798 días	180,8777 días	55,79035 días	128,4595 días	21,8811 días	7,724292 días	18,20593 días	9,954007 días
80% porc	220,2896 días	36,86294 días	69,70763 días	68,34099 días	189,0675 días	57,31142 días	136,4342 días	22,88106 días	8,095726 días	20,11633 días	10,51457 días
85% porc	231,3583 días	44,08112 días	71,68127 días	71,70065 días	199,1082 días	59,27472 días	147,4591 días	24,35316 días	8,537706 días	22,58107 días	11,2849 días
90% porc	247,8396 días	56,72686 días	73,65521 días	76,0714 días	212,3026 días	62,04052 días	164,5112 días	26,22882 días	9,107615 días	26,05596 días	12,46467 días
95% porc	274,1688 días	87,33595 días	75,62672 días	82,67508 días	232,5161 días	66,76774 días	198,3731 días	29,34516 días	9,976455 días	31,99521 días	14,77579 días

Anexo No 8 – Detalles estadísticos de la modelación del costo directo

Estadísticos detallados @RISK													
Ejecutado por: Hernan													
Fecha: miércoles, 16 de octubre de 2013 07:08:04 p.m.													
Nombre	TOTAL COSTO DIRECTOS / Costo total	Cajeo 2	Conformación de subbase 2	Subase 2	Base 2	Imprimación 2	Carpetas Asfálticas 2	Cunetas en concreto 2	Encoles y descoles 2	Tubería de concreto reforzado de 900 mm 2	Lineas de demarcación con pintura en frío 2		
Descripción	Salida	RiskUniform(5202,2; 26751;RiskName("Cajeo 2"))	RiskUniform(190,89; 2890,4;RiskName("Conformación de subbase 2"))	RiskExpValue(78353; 31003;RiskName("Subase 2"))	RiskLaplace(91255,1; 1335464,6703;RiskName("Base 2"))	RiskPareto(3,00471; 292,2;RiskName("Imprimación 2"))	RiskNormal(443866; 140334;RiskName("Carpetas Asfálticas 2"))	RiskLaplace(36544,2; 8414685,7611;RiskName("Cunetas en concreto 2"))	RiskUniform(25213; 694979;RiskName("Encoles y descoles 2"))	RiskLaplace(360361, 62710085,8959;RiskName("Tubería de concreto reforzado de 900 mm 2"))	RiskLaplace(180954, 8454,183;RiskName("Lineas de demarcación con pintura en frío 2"))		
Celda	Hoja1!E14	Hoja1!D4	Hoja1!D5	Hoja1!D6	Hoja1!D7	Hoja1!D8	Hoja1!D9	Hoja1!D10	Hoja1!D11	Hoja1!D12	Hoja1!D13		
Mínimo	\$ 720.836,269,23	\$ 5.203,58	\$ 190,93	\$ 4.523,93	\$ (209.966,43)	\$ 1.292,22	\$ (84.676,90)	\$ 8.110,77	\$ 252.250,71	\$ 299.536,85	\$ (945,12)		
Máximo	\$ 10.796.575,737,03	\$ 26.749,22	\$ 2.890,21	\$ 372.481,76	\$ 307.601,67	\$ 37.034,04	\$ 988.242,54	\$ 68.329,70	\$ 694.967,21	\$ 428.089,40	\$ 4.680,63		
Media	\$ 5.213.042,816,52	\$ 15.976,60	\$ 1.540,64	\$ 96.280,37	\$ 91.247,26	\$ 1.936,19	\$ 443.867,75	\$ 36.544,62	\$ 473.595,98	\$ 360.362,43	\$ 1.809,56		
Desviación est	\$ 1.073.225,384,01	\$ 6.220,92	\$ 779,32	\$ 39.821,92	\$ 35.503,67	\$ 1.070,97	\$ 140.330,67	\$ 4.683,48	\$ 127.821,54	\$ 10.082,78	\$ 453,87		
Varianza	1.15181E+18	38699820	60739,9	1585785000	1260510000	1146987	19692700000	21934970	16338350000	101662400	205995,6		
Asimetría	0,005849343	-2,72895E-06	-5,2420E-06	1,130053	-0,03693149	8,712268	0,00607061	0,008557843	4,29512E-06	0,009984601	0,003101603		
Curtosis	3,09632	1,8	1,799999	5,293378	6,214025	173,888	2,995711	5,902159	1,799996	5,929896	5,871431		
Errores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Moda	\$ 5.169.655,386,41	\$ 18.023,65	\$ 2.040,06	\$ 77.265,30	\$ 91.002,65	\$ 1.294,36	\$ 442.108,29	\$ 36.577,64	\$ 657.346,20	\$ 360.433,46	\$ 1.812,78		
5% porc	\$ 3.453.233,812,54	\$ 6.277,94	\$ 325,79	\$ 44.266,19	\$ 33.462,36	\$ 1.314,44	\$ 212.911,28	\$ 28.913,78	\$ 274.329,17	\$ 343.932,58	\$ 1.069,77		
10% porc	\$ 3.838.691,182,56	\$ 7.355,47	\$ 460,62	\$ 52.438,28	\$ 50.883,80	\$ 1.338,28	\$ 263.955,86	\$ 31.208,89	\$ 296.456,21	\$ 348.882,78	\$ 1.292,38		
15% porc	\$ 4.111.135,233,28	\$ 8.432,92	\$ 595,77	\$ 58.461,12	\$ 61.059,43	\$ 1.364,01	\$ 298.393,28	\$ 32.554,34	\$ 318.607,00	\$ 351.771,20	\$ 1.422,70		
20% porc	\$ 4.316.765,594,08	\$ 9.509,83	\$ 730,56	\$ 63.563,26	\$ 68.272,60	\$ 1.391,79	\$ 325.735,90	\$ 33.508,20	\$ 340.748,91	\$ 353.824,72	\$ 1.515,21		
25% porc	\$ 4.489.909,652,93	\$ 10.586,17	\$ 865,55	\$ 68.202,79	\$ 73.865,46	\$ 1.422,02	\$ 349.182,94	\$ 34.246,51	\$ 362.881,52	\$ 355.416,16	\$ 1.586,87		
30% porc	\$ 4.647.089,781,87	\$ 11.664,95	\$ 1.000,51	\$ 72.586,18	\$ 78.438,96	\$ 1.455,00	\$ 370.265,02	\$ 34.850,65	\$ 385.029,32	\$ 356.716,73	\$ 1.645,47		
35% porc	\$ 4.795.945,059,01	\$ 12.743,41	\$ 1.135,57	\$ 76.836,61	\$ 82.308,17	\$ 1.491,37	\$ 389.757,03	\$ 35.361,88	\$ 407.176,58	\$ 357.817,68	\$ 1.694,96		
40% porc	\$ 4.941.303,098,25	\$ 13.820,88	\$ 1.270,56	\$ 81.060,55	\$ 85.653,14	\$ 1.531,64	\$ 408.285,76	\$ 35.804,62	\$ 429.276,47	\$ 358.768,57	\$ 1.737,87		
45% porc	\$ 5.078.609,975,63	\$ 14.898,53	\$ 1.405,53	\$ 85.339,29	\$ 88.611,27	\$ 1.576,64	\$ 426.230,91	\$ 36.195,04	\$ 451.423,93	\$ 359.609,06	\$ 1.775,67		
50% porc	\$ 5.207.317,306,78	\$ 15.975,84	\$ 1.540,50	\$ 89.732,64	\$ 91.254,22	\$ 1.627,45	\$ 443.831,66	\$ 36.544,08	\$ 473.573,99	\$ 360.361,51	\$ 1.809,54		
55% porc	\$ 5.350.140,920,18	\$ 17.052,85	\$ 1.675,49	\$ 94.331,55	\$ 93.895,59	\$ 1.685,48	\$ 461.468,33	\$ 36.893,36	\$ 495.711,48	\$ 361.113,02	\$ 1.843,38		
60% porc	\$ 5.493.522,424,48	\$ 18.129,37	\$ 1.810,52	\$ 99.215,87	\$ 96.845,43	\$ 1.752,87	\$ 479.387,23	\$ 37.282,90	\$ 517.855,10	\$ 361.952,78	\$ 1.881,18		
65% porc	\$ 5.627.930,060,67	\$ 19.207,79	\$ 1.945,46	\$ 104.502,66	\$ 100.195,68	\$ 1.832,51	\$ 497.926,59	\$ 37.726,01	\$ 539.966,69	\$ 362.903,69	\$ 1.924,01		
70% porc	\$ 5.775.824,610,30	\$ 20.285,46	\$ 2.080,38	\$ 110.371,48	\$ 104.064,39	\$ 1.928,92	\$ 517.451,53	\$ 38.236,14	\$ 562.141,02	\$ 364.002,60	\$ 1.973,51		
75% porc	\$ 5.939.569,490,77	\$ 21.363,22	\$ 2.215,49	\$ 117.050,40	\$ 108.636,78	\$ 2.049,59	\$ 538.497,40	\$ 38.840,08	\$ 584.260,93	\$ 365.303,00	\$ 2.032,08		
80% porc	\$ 6.111.745,013,19	\$ 22.441,16	\$ 2.350,45	\$ 124.937,01	\$ 114.228,60	\$ 2.207,52	\$ 561.954,44	\$ 39.578,62	\$ 606.404,43	\$ 366.895,88	\$ 2.103,72		
85% porc	\$ 6.312.604,621,73	\$ 23.517,33	\$ 2.485,47	\$ 134.783,01	\$ 121.436,04	\$ 2.429,32	\$ 589.263,09	\$ 40.533,32	\$ 628.527,18	\$ 368.944,56	\$ 2.196,09		
90% porc	\$ 6.583.344,746,82	\$ 24.594,46	\$ 2.620,30	\$ 148.253,99	\$ 131.601,32	\$ 2.780,28	\$ 623.681,57	\$ 41.875,09	\$ 650.688,70	\$ 371.833,53	\$ 2.326,13		
95% porc	\$ 6.985.150,389,23	\$ 25.672,08	\$ 2.755,38	\$ 170.586,90	\$ 148.967,96	\$ 3.500,35	\$ 674.580,17	\$ 44.168,79	\$ 672.798,26	\$ 376.780,75	\$ 2.548,81		

Anexo No 9 – Detalles estadísticos de la modelación del costo directo más administración

Estadísticos detallados @RISK												
Ejecutado por: Hernan												
Fecha: sábado, 16 de noviembre de 2013 05:40:49 p.m.												
Nombre	COSTO TOTALES	Cajero 2	Conformaconde subreasente 2	Subase 2	Base 2	Imprimacion 2	Carpeta Asfaltica 2	Cunetas en concreto 2	enrollos y descolos 2	Tuberia de concreto reforzado de 900 mm 2	Lineas de demarcacion con pintura en frio 2	Duracion
Descripción	Salida	RiskUniform(5202,2; 26751;RiskName("Cajero 2"))	RiskExValue(78353; 31063;RiskName("Conformación de subrecurso 2"))	RiskExValue(78353; 31063;RiskName("Subase 2"))	RiskName("Base 2")	RiskPareto(3,00471; 140334;RiskName("Imprimación 2"))	RiskNormal(443866; 140334;RiskName("Carpeta Asfáltica 2"))	RiskPareto(36544,2; 844685;761,1;RiskName("Cunetas en concreto 2"))	RiskUniform(25213; 694979;RiskName("enrollados y descolos 2"))	RiskPareto(360361; 6271,0085; 89597,6; 8454,183;RiskName("Tubería de concreto reforzado de 900 mm 2"))	RiskPareto(1809,54; 4,0;70788;RiskName("Lineas de demarcación con pintura en frío 2"))	RiskLognorm(3,951; 125,98;RiskName("Duración"))
Celda	Hoja1!E19	Hoja1!D4	Hoja1!D5	Hoja1!D6	Hoja1!D7	Hoja1!D8	Hoja1!D9	Hoja1!D10	Hoja1!D11	Hoja1!D12	Hoja1!D13	Hoja1!C17
Mínimo	\$ 1.543.140.804,37	\$ 5.202,35	\$ 191,14	\$ 9.000,19	\$ (141.081,96)	\$ 1.292,21	\$ (84.518,19)	\$ 7.900,52	\$ 252.233,42	\$ 297.553,34	\$ (1.736,45)	129,551
Máximo	\$ 14.661.089.549,62	\$ 26.750,76	\$ 2.890,27	\$ 364.683,63	\$ 323.022,00	\$ 83.664,56	\$ 972.689,76	\$ 65.693,27	\$ 694.975,86	\$ 422.079,09	\$ 5.212,93	854,7673
Media	\$ 5.675.449.753,46	\$ 15.976,60	\$ 1.540,64	\$ 96.279,76	\$ 91.257,49	\$ 1.941,07	\$ 443.865,03	\$ 36.544,29	\$ 473.595,75	\$ 360.361,40	\$ 1.809,53	192,7843
Desviación est	\$ 1.085.734.761,92	\$ 6.220,92	\$ 779,32	\$ 39.816,15	\$ 35.460,52	\$ 1.303,54	\$ 140.316,94	\$ 4.681,14	\$ 127.821,86	\$ 10.079,09	\$ 454,90	53,71003
Varianza	1,17882E+18	38699910	607340,1	1,98532E+09	1,25744E+09	1,699226	1,968850E+08	21913050	1,633843E+08	101,988100	206936,3	2884,767
Asimetría	0,06446942	-1,91519E-06	-3,66031E-06	1,127569	0,005155193	27,61666	-0,000168765	0,000851312	2,73497E-06	-0,0009398017	-0,006404734	2,803234
Curtois	3,540284	1,799999	1,8	5,265761	5,94362	1574,442	2,991638	5,941806	1,800002	5,976527	6,245171	17,68672
Errores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moda	\$ 5.456.971.224,06	\$ 20.609,57	\$ 258,38	\$ 78.109,94	\$ 91.507,50	\$ 1.294,36	\$ 438.586,81	\$ 36.577,63	\$ 493.519,65	\$ 360.289,88	\$ 1.806,31	158,6031
5% porc	\$ 3.927.337.569,38	\$ 6.277,53	\$ 325,71	\$ 44.252,79	\$ 33.489,54	\$ 1.314,42	\$ 212.982,03	\$ 28.913,65	\$ 274.347,27	\$ 343.934,73	\$ 1.070,05	142,2108
10% porc	\$ 4.298.104.250,95	\$ 7.356,46	\$ 460,65	\$ 52.434,56	\$ 50.885,02	\$ 1.338,30	\$ 264.011,82	\$ 31.209,48	\$ 296.480,91	\$ 348.880,46	\$ 1.292,39	146,9674
15% porc	\$ 4.561.740.978,60	\$ 8.432,50	\$ 595,65	\$ 58.452,41	\$ 61.049,85	\$ 1.363,98	\$ 298.390,99	\$ 32.553,04	\$ 318.621,72	\$ 351.773,85	\$ 1.422,78	150,95
20% porc	\$ 4.767.952.515,25	\$ 9.510,90	\$ 730,56	\$ 63.569,25	\$ 68.270,26	\$ 1.391,77	\$ 325.736,13	\$ 33.508,28	\$ 340.744,54	\$ 353.826,11	\$ 1.515,22	154,6376
25% porc	\$ 4.945.149.237,07	\$ 10.587,58	\$ 865,72	\$ 68.201,17	\$ 73.872,78	\$ 1.422,02	\$ 349.177,39	\$ 34.246,44	\$ 362.867,69	\$ 355.415,64	\$ 1.586,89	158,237
30% porc	\$ 5.105.547.229,78	\$ 11.666,64	\$ 1.000,62	\$ 72.586,22	\$ 78.438,19	\$ 1.455,06	\$ 370.235,91	\$ 34.850,66	\$ 384.999,74	\$ 356.716,73	\$ 1.645,45	161,8568
35% porc	\$ 5.258.254.540,75	\$ 12.743,59	\$ 1.135,66	\$ 76.835,79	\$ 82.309,72	\$ 1.491,36	\$ 389.773,33	\$ 35.361,82	\$ 407.145,92	\$ 357.817,01	\$ 1.694,98	165,5677
40% porc	\$ 5.398.348.558,46	\$ 13.821,33	\$ 1.270,48	\$ 81.062,53	\$ 85.656,22	\$ 1.531,63	\$ 408.301,52	\$ 35.804,47	\$ 429.303,45	\$ 358.769,73	\$ 1.737,84	169,4494
45% porc	\$ 5.527.684.165,55	\$ 14.897,55	\$ 1.405,65	\$ 85.338,16	\$ 88.608,68	\$ 1.576,61	\$ 426.229,69	\$ 36.194,83	\$ 451.431,84	\$ 359.609,50	\$ 1.775,69	173,5605
50% porc	\$ 5.667.515.758,21	\$ 15.975,78	\$ 1.540,62	\$ 89.736,59	\$ 91.253,41	\$ 1.627,48	\$ 443.858,94	\$ 36.544,18	\$ 473.553,01	\$ 360.361,23	\$ 1.809,49	177,9841
55% porc	\$ 5.807.376.441,72	\$ 17.053,53	\$ 1.675,39	\$ 94.331,29	\$ 93.892,42	\$ 1.685,55	\$ 461.474,86	\$ 36.893,29	\$ 495.690,71	\$ 361.112,17	\$ 1.843,34	182,8252
60% porc	\$ 5.943.543.844,73	\$ 18.129,82	\$ 1.810,50	\$ 99.216,77	\$ 96.844,89	\$ 1.752,90	\$ 479.397,67	\$ 37.283,18	\$ 517.839,52	\$ 361.951,95	\$ 1.881,18	188,2026
65% porc	\$ 6.086.141.917,72	\$ 19.268,84	\$ 1.945,45	\$ 104.512,04	\$ 100.195,70	\$ 1.832,46	\$ 497.937,14	\$ 37.725,15	\$ 539.987,78	\$ 362.905,19	\$ 1.924,04	194,2877
70% porc	\$ 6.226.827.371,20	\$ 20.285,27	\$ 2.080,33	\$ 110.371,57	\$ 104.060,80	\$ 1.928,97	\$ 517.454,68	\$ 38.236,17	\$ 562.134,17	\$ 364.002,96	\$ 1.973,55	201,3526
75% porc	\$ 6.391.408.608,52	\$ 21.361,90	\$ 2.215,52	\$ 117.053,13	\$ 108.634,29	\$ 2.049,61	\$ 538.497,16	\$ 38.840,04	\$ 584.284,50	\$ 365.303,71	\$ 2.032,11	209,8061
80% porc	\$ 6.577.027.996,07	\$ 22.440,93	\$ 2.350,43	\$ 124.931,45	\$ 114.226,19	\$ 2.207,53	\$ 561.954,23	\$ 39.578,98	\$ 606.399,13	\$ 366.896,09	\$ 2.103,71	220,3359
85% porc	\$ 6.794.834.247,98	\$ 23.518,14	\$ 2.485,24	\$ 134.791,68	\$ 121.442,85	\$ 2.429,56	\$ 589.257,38	\$ 40.531,68	\$ 628.554,14	\$ 368.943,99	\$ 2.196,16	224,2757
90% porc	\$ 7.071.327.201,26	\$ 24.595,42	\$ 2.620,33	\$ 148.236,07	\$ 131.598,27	\$ 2.780,03	\$ 623.686,26	\$ 41.875,29	\$ 650.681,67	\$ 371.836,69	\$ 2.326,28	254,791
95% porc	\$ 7.464.954.016,57	\$ 25.672,92	\$ 2.755,27	\$ 170.585,11	\$ 148.961,42	\$ 3.501,68	\$ 674.638,59	\$ 44.168,07	\$ 672.823,19	\$ 376.771,93	\$ 2.548,69	292,5301